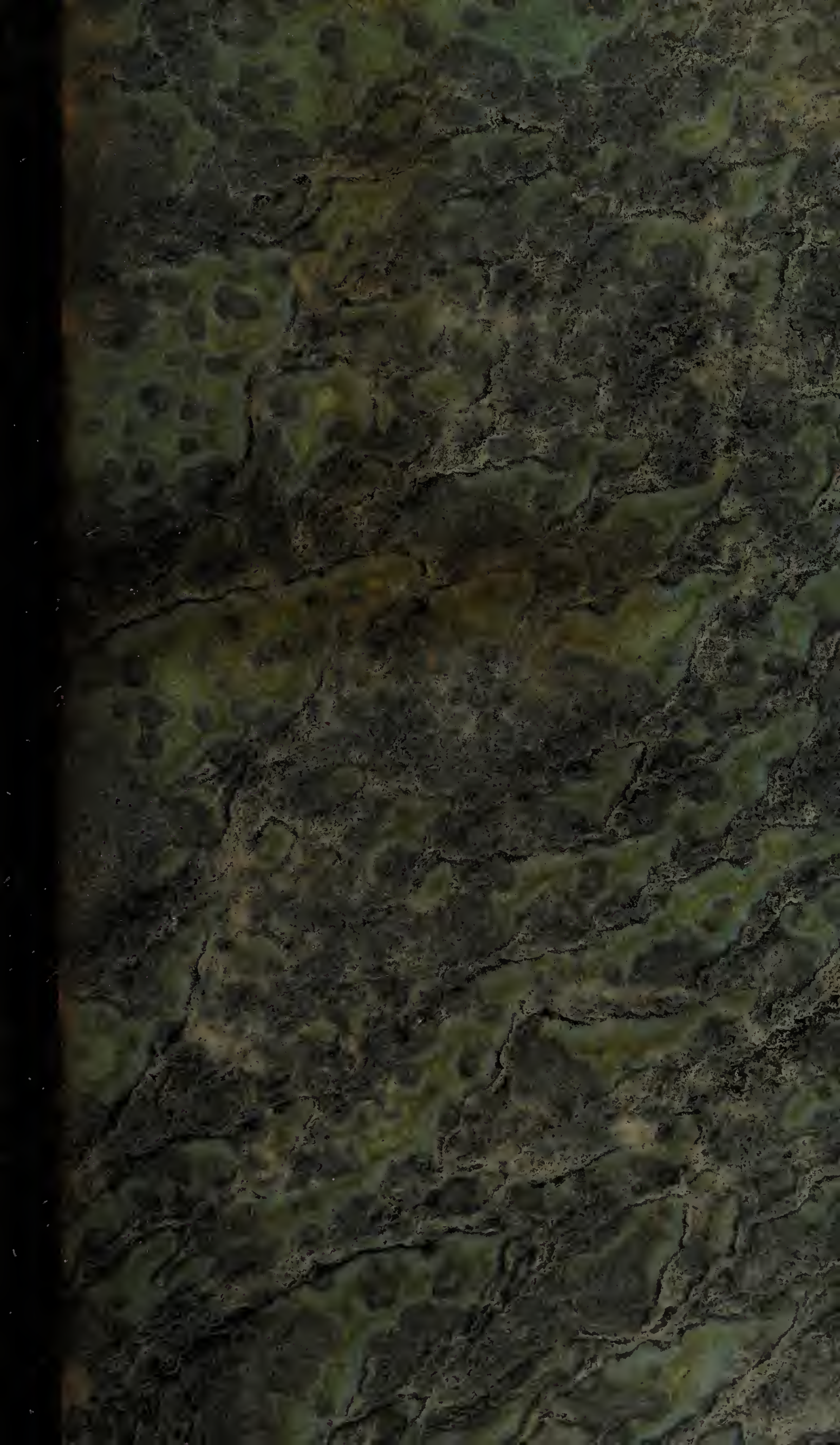



Vitam impendere Vero
x libris O. Borelli
LIT. ROLLA
ROMA

ANNALES

DE

CHIMIE ET DE PHYSIQUE.

TOME XVII.

ANNALES

DE

CHIMIE ET DE PHYSIQUE,

Par MM. GAY-LUSSAC et ARAGO.

TOME DIX-SEPTIÈME.



A PARIS,

Chez CROCHARD, Libraire, Cloître Saint-Benoît, n° 16, près celle des Mathurins.

1821.

DE L'IMPRIMERIE DE FEUGUERAY,
rue du Cloître Saint-Benoît, n° 4.

ANNALES

DE

CHIMIE ET DE PHYSIQUE.

SUITE

Des Expériences pour déterminer la composition de plusieurs combinaisons inorganiques, qui servent de base aux calculs relatifs à la théorie des proportions chimiques.

PAR Mr J. BERZELIUS.

(La 1re partie de ce Mémoire se trouve dans les *Annales de Chimie et de Physique*, tome XI. 113-125-225-246.)

V. *Sur la Capacité de saturation de l'acide molybdique.*

BUCHOLZ trouva, par une série d'expériences très-exactes, que le sulfure de molybdène contient 60 part. de métal sur 40 part. de soufre, et que ces 60 part. de métal absorbent 30 part. d'oxigène pour devenir acide molybdique. Il s'ensuit que pour le molybdène, il y a entre le soufre du sulfure et l'oxigène de l'acide un rapport analogue à celui que nous avons trouvé pour le sul-

fure et l'acide de l'arsenic, c'est-à-dire que le sulfure de molybdène est proportionnel à un degré d'oxidation inférieur à celui de l'acide.

La composition de l'acide molybdique étant donnée, il ne restait qu'à déterminer sa capacité de saturation, ce que j'ai d'abord essayé de faire par l'analyse du molybdate de baryte; mais ce sel se décompose lorsqu'on veut le sécher au feu et devient bleu. Dissous par l'acide nitrique, et ensuite précipité par de l'acide sulfurique, il donne un précipité bleu.

J'ai donc choisi le molybdate de plomb, dont j'ai trouvé la composition de la manière suivante: 10 gramm. de nitrate de plomb sec, dissous dans de l'eau, ont été précipités par une dissolution de molybdate d'ammoniaque, ajoutée en excès. Le molybdate d'ammoniaque était cristallisé dans une dissolution qui tenait encore de l'ammoniaque en excès. Sans cette précaution, on obtient ou un sur-molybdate, ou un mélange du dernier avec le molybdate neutre. Le molybdate de plomb insoluble, ainsi obtenu, bien lavé et chauffé à rouge, pesait 11.068 gramm. Le liquide d'où il s'était séparé, ainsi que les eaux de lavage, n'ont point été troublés par l'addition d'acide sulfurique, preuve que le molybdate de plomb contenait tout l'oxide de plomb des 10 gramm. du nitrate employé, c'est-à-dire qu'il contenait 6.731 gr. d'oxide de plomb. Par un calcul bien simple, on trouve que le molybdate de plomb est composé de:

Acide molybdique,	39.185	100;
Oxide de plomb,	60.815	155.2.

Or, 155.2 parties d'oxide contiennent 11.129 part.

d'oxigène, qui sont un sous-multiple de 50 (quantité d'oxigène absorbée par 100 part. de molybdène dans les expériences de Bucholz) par 3 ; car $11.129 \times 3 = 33,387$. Il s'ensuit donc que, dans les molybdates neutres, l'acide contient trois fois autant d'oxigène que la base. Il est donc composé de :

Molybdène,	66.613	100.00 ;
Oxigène,	33.387	50.12.

VI. *Sur la Composition et sur la Capacité de saturation de l'acide chromique.*

Pour ces expériences, j'ai préparé un chromate de potasse qui ne contenait aucune substance étrangère, excepté du nitrate de potasse ; et moyennant une dissolution de ce chromate, j'ai obtenu les chromates insolubles dont je devais faire l'analyse.

Chromate de plomb. Une dissolution de 10 gramm. de nitrate de plomb a été infiltrée dans une dissolution de chromate de potasse, suffisante pour convertir l'oxide de plomb en chromate. Le précipité, bien lavé et séché au feu, pesait 9.8772 gramm. Le liquide dans lequel il s'était formé ne fut point troublé par l'acide sulfurique. Il s'ensuit que le chromate de plomb doit être composé de :

Acide chromique,	31.853	100.000 ;
Oxide de plomb,	68.147	213.924.

Or, les 213.924 part. d'oxide de plomb contiennent 15.34 part. d'oxigène. Ce nombre exprime donc la capacité de saturation de l'acide chromique. 10 grammes de chromate de plomb de Sibérie, très-bien cristallisé,

ont été réduits en poudre fine et ensuite traités par un mélange d'acide muriatique et d'alcool. La masse commençait à peine à être chaude lorsqu'une action très-vive eut lieu ; de l'éther muriatique se dégagea en abondance ; le liquide prit une couleur verte foncée, et le chromate de plomb se convertit en muriate. Le muriate de plomb, bien lavé par de l'alcool, fut ensuite dissous par de l'eau bouillante. Il laissa pour résidu 0.1 gr. de matières siliceuses étrangères au chromate. La dissolution, évaporée à sec dans un creuset de platine, laissa pour résidu 8.435 gr. de muriate de plomb, équivalens à 6.77 gr. d'oxide de plomb ; mais la quantité de chromate de plomb pur n'ayant été que 9.9 gr., il s'ensuit que l'expérience donne pour 100 part. de chromate 6.838 gr. d'oxide de plomb. La dissolution alcoolique, étendue avec de l'eau, et précipitée avec de l'ammoniaque, donna de l'hydrate d'oxide vert de chrôme, qui, poussé au feu, pesait 2.388 gr. Le liquide ammoniacal, qui parut contenir encore de l'oxide de chrôme, fut évaporé à sec, et la masse chauffée jusqu'à volatiliser le muriate d'ammoniaque. On en obtint encore 0,013 gr. d'oxide vert de chrôme ; ce qui fait en totalité 2.401 gr. pour 9.9 de chromate de plomb, ou 2.425 gr. pour 10 gr. de chromate. Le chromate de plomb a donc donné, dans cette expérience :

Oxide de plomb,	68.38 ;
Oxide vert de chrôme,	24.25 ;
Perte,	7.37.

L'analyse a indiqué $\frac{25}{10000}$ en plus de base que n'a donné l'expérience synthétique. Il est probable que cela n'est

qu'une erreur d'observation dans la première, qui est plus compliquée que la dernière.

La perte, dans cette expérience, ne peut être que de l'oxigène; de manière que 24.25 part. d'oxide vert de chrôme donneront avec 7.37 part. d'oxigène, 31.62 parties d'acide chromique : or, l'oxigène contenu dans les 68.38 part. d'oxide de plomb est 4.9, qui $\times 1\frac{1}{2} = 7,35$, c'est-à-dire que l'acide chromique, lorsqu'il est réduit à l'état d'oxide vert, perd une quantité d'oxigène équivalente à une fois et demie sa capacité de saturation.

Chromate de baryte, préparé avec le muriate de baryte, versé dans une dissolution de chromate de potasse. 10 gr. de chromate de baryte séché au feu ont été dissous dans un mélange d'acide muriatique et d'alcool. Il s'est formé du muriate de baryte et du muriate de chrôme. On a évaporé l'alcool, en le remplaçant ensuite par de l'eau. A cette dissolution on a ajouté de l'acide sulfurique, aussi long-temps qu'un précipité se formait, et on a obtenu du sulfate de baryte qui, bien lavé et séché au feu, pesait 9.1233 gr. L'oxide de chrôme, séparé du liquide restant par les moyens indiqués plus haut, pesait 3.043 gr. L'analyse a donc donné :

Baryte,	59.88;
Oxide de chrôme,	30.43;
Perte,	9.69.

Les 59.88 part. de baryte contiennent 6.26 part. d'oxigène, et $6.26 \times 1\frac{1}{2} = 9,39$. Le résultat de cette analyse est donc d'accord avec celui de l'expérience précédente. La petite différence ne peut être due qu'à une inexactitude d'observation, inséparable de cette manière d'opérer; car

une petite quantité d'oxide de chrôme se précipite toujours avec le sulfate de baryte, qui en prend une couleur jaunâtre. C'est par cette raison que la capacité de saturation de l'acide chromique, calculée d'après l'analyse du chromate de baryte, ferait 15.6, au lieu que le chromate de plomb ne donne que 15.34. J'ai trois fois répété l'analyse du chromate de baryte, en prenant toutes les précautions pour prévenir la précipitation de l'oxide de chrôme avec le sulfate de baryte; mais ce dernier a toujours jauni par l'exposition au feu. Dans ces trois expériences, j'ai trouvé 100 part. d'acide chromique combinées avec 149.15, 149.24 et 149.5 part. de baryte, y compris la petite portion d'oxide de chrôme dont le sulfate de baryte était coloré.

Pour déterminer la quantité totale d'oxigène dans l'acide chromique, il fallait connaître celle contenue dans l'oxide vert. Il est évident qu'il doit en contenir, ou une quantité égale à celle que l'acide perd par sa réduction à l'état d'oxide vert, ou $\frac{2}{3}$ de cette quantité. Dans le premier cas, l'acide contient trois fois autant d'oxigène que la base dont il est neutralisé, et dans le dernier il n'en contient que deux fois et demie cette quantité, tout comme cela arrive avec les acides arsénique et phosphorique.

N'ayant point à ma disposition du chrôme métallique, j'ai essayé de déduire la composition de son oxide vert, de sa capacité pour les acides. J'ai dissous de l'hydrate de chrôme par de l'acide muriatique; j'ai évaporé cette dissolution à sec, et chauffé le muriate à une température assez forte pour éloigner toute trace de muriate d'ammoniaque qui pouvait s'y trouver.

Le muriate, ainsi chauffé, se présenta sous la forme d'une masse rouge, pulvérulente et volumineuse. Il se dissolvait fort lentement, mais cependant sans résidu, dans l'eau. La dissolution fut précipitée par de l'ammoniaque ajoutée en si petit excès, que le liquide ne fit que réagir faiblement; il fut ensuite digéré avec cet excès, pour enlever l'acide muriatique précipité avec l'oxide en forme de sous-muriate. L'oxide, ainsi obtenu, pesait 3.05 gr. Le liquide, neutralisé avec de l'acide nitrique et précipité par du nitrate d'argent, produisit 15.61 gr. de muriate d'argent. (Lorsque j'essayai de précipiter d'abord le muriate d'argent, et ensuite l'oxide de chrôme, une grande partie de ce dernier se précipita avec le muriate d'argent, probablement dans une combinaison triple). L'expérience a donc donné, pour 100 p. d'acide muriatique, 102.3 part. d'oxide de chrôme, ce qui fait 28.5 parties d'oxigène dans 100 part. d'oxide vert. Si l'acide contient le métal combiné avec deux fois autant d'oxigène que dans l'oxide vert, ce dernier doit contenir 29.89 centièmes de son poids d'oxigène : si, d'un autre côté, le rapport de l'oxigène de l'oxide était à celui de l'acide comme 2 : 5, l'oxide ne devrait contenir que 20 part. d'oxigène; ce qui diffère du résultat obtenu de plus de 8 centièmes du poids de l'oxide. Si enfin l'oxigène de l'oxide était à celui de l'acide dans le rapport de 3 : 5, sa composition s'écarterait également beaucoup du résultat trouvé.

Je crois donc que l'on peut considérer l'expérience précitée comme assez concluante pour déterminer lequel de ces nombres est le plus exact. En admettant le résultat de la synthèse du chromate de plomb, vu que

celle-ci est la plus simple parmi ces expériences, la capacité de saturation de l'acide chromique doit être 15.34, et l'acide lui-même doit contenir trois fois cette quantité d'oxigène. L'acide chromique est donc composé de :

Chrôme,	53.98	100.00;
Oxigène,	46.02	85.65.

L'oxide de chrôme vert est composé de :

Chrôme,	70.11	100.00;
Oxigène,	29.89	42.64.

Avant de quitter ces expériences, je dirai quelques mots sur un phénomène très-intéressant que présente l'oxide de chrôme lorsqu'on l'expose au feu. Si l'on chauffe l'hydrate de l'oxide vert sur la flamme d'une lampe à esprit-de-vin, il perd son eau et devient vert foncé, presque noir. Si on le pèse alors, et qu'on le chauffe ensuite à rouge, il paraît s'enflammer un moment d'un feu très-vif qui ne dure qu'un instant. L'oxide refroidi est d'un beau vert de pré; il n'a rien perdu en poids et il est devenu insoluble dans les acides. Lorsque je dis qu'il ne perd rien, je dois ajouter que j'ai le plus souvent trouvé qu'il perd 0.0025 de son poids; ce qui dérive d'une petite quantité d'acide retenue malgré l'excès d'ammoniaque par lequel il a été précipité, et qui, au moment de l'ignition, est sensible même à l'odeur; circonstance qui explique pourquoi, dans l'analyse du muriate de chrôme, la quantité d'oxide obtenue excède un peu ce qu'elle devrait être d'après le calcul. Ce phénomène est de la même nature que l'ignition que su-

bissent plusieurs antimoniates métalliques, la gadolinite et l'hydrate de zircone.

VII. *Sur la Composition et la Capacité de saturation de l'acide tungstique.*

Cet acide a été analysé par Bucholz, qui l'a trouvé composé de 80 part. de métal sur 20 part. d'oxigène. J'ai examiné le sulfure de tungstène, préparé de la manière suivante: 1 part. d'acide tungstique en poudre (1) a été mêlée avec 4 part. de sulfure de mercure. Le mélange a été ensuite introduit dans un creuset de Hesse, couvert d'un autre creuset plus petit, et le tout a été enfermé dans un grand creuset, et environné de charbon pulvérisé avant de fermer le grand creuset. Le mélange a ensuite été chauffé à une température très-élevée pendant une heure. Pendant le refroidissement, les charbons qui environnaient le petit creuset absorbèrent l'oxigène de l'air entrant, de manière que le sulfure obtenu fut très-bien conservé. L'expérience ne se laisse point faire dans une cornue; car, à la température où le verre se fond, le sulfure double de mercure et de tungstène se conserve en grande partie sans décomposition. Avec le soufre seul, il est difficile de décomposer l'acide tungstique d'une manière parfaite.

Le sulfure de tungstène est une masse d'un gris noirâtre, comme le sulfure de cuivre. Touché avec une hématite

(1) Cet acide avait été obtenu du tungstate d'ammoniaque cristallisé très-pur, décomposé par le feu.

polie, il prend un brillant métallique; et comprimé par des coups de marteau, il devient plus dur et plus consistant.

100 part. de ce sulfure, grillées dans des vaisseaux convenables, ont produit 93.5 part. d'acide tungstique.

100 part. du même sulfure, traitées par de l'acide nitro-muriatique jusqu'à ce que le soufre fût entièrement acidifié, ont donné avec le muriate de baryte 182 part. de sulfate de baryte, équivalentes à 25.109 part. de soufre. Il s'ensuit que le sulfure de tungstène doit être proportionnel à un degré d'oxidation inférieur à l'acide, tout comme nous l'avons trouvé pour le sulfure de molybdène.

Le sulfure de tungstène est donc composé de:

Tungstène,	74.891	100.00;
Soufre,	25.109	35.53.

Mais si 93,5 part. d'acide tungstique contiennent 74.891 part. de métal, 100 part. doivent en contenir 80.09, ce qui coïncide avec les expériences de Bucholz.

Afin d'examiner la capacité de saturation de l'acide tungstique, j'ai analysé le tungstate d'ammoniaque cristallisé. J'en ai mis 100 part. dans une cornue, munie d'un petit récipient rempli de potasse caustique, et j'ai chauffé la cornue jusqu'au rouge. L'appareil a perdu 6.338 parties de gaz ammoniac. Le récipient a gagné 6.662 part. d'eau retenue par la potasse; et dans la cornue, il est resté 87 part. d'acide tungstique, d'une couleur bleue d'indigo. Le résidu bleu, exposé au feu dans un creuset, devint jaune; mais il gagna si peu en poids, que je crus pouvoir le négliger. D'après cette expérience, 100 part. d'acide tungstique saturent 7.285 part. d'ammoniaque,

équivalentes à une base qui contiendrait 3.38 parties d'oxigène. Ce nombre est un sous-multiple de 20 par 6, car $3.38 \times 6 = 20.28$.

Dans le tungstate de chaux natif, dont j'ai donné l'analyse dans un autre endroit, j'ai trouvé 80.417 p. d'acide tungstique combinées avec 19,4 part. de chaux. En calculant le rapport de l'oxigène de la base à celui de l'acide dans ce sel, on trouve que le premier est un sous-multiple du dernier par 3. Le même rapport a lieu aussi dans le minéral appelé *wolfram*, où l'acide tungstique est combiné avec les protoxides de fer et de manganèse. Je préfère de considérer les combinaisons fossiles de cet acide comme des sels neutres, et le tungstate d'ammoniaque comme un sur-sel, quoiqu'il ne réagisse pas comme une substance acide, tout comme il arrive avec les carbonates avec excès d'acide. Dans ce cas, l'acide tungstique contient trois fois autant d'oxigène que la base dont il est neutralisé; mais je ne saurais décider si le nombre 20,28, dérivé des analyses des tungstates, est plus exact que 20.0, qui est le résultat de l'expérience directe sur le sulfure et sur l'acide tungstique.

La substance bleue qui reste après la décomposition du tungstate d'ammoniaque dans des vaisseaux fermés, est d'une nature assez particulière. Elle se dissout dans les alcalis caustiques en perdant sa couleur, mais un peu moins vite que l'acide jaune. La dissolution donne des tungstates ordinaires. Si on la chauffe dans un vaisseau cylindrique ouvert, elle devient jaune à la surface; mais elle se conserve bleue dans l'intérieur; preuve que c'est à l'accès de l'air qu'elle doit le changement de couleur. Je l'ai plusieurs fois chauffée jusqu'à la restitution

de la couleur jaune : elle gagne sensiblement en poids ; mais ce gain n'excède jamais 0.0025, ou tout au plus 0.003 de son poids.

Il est difficile de se faire une idée d'un changement qui dépend d'une addition d'oxigène aussi petite ; car même, au cas que l'acide tungstique pût se combiner avec l'oxide du même métal, dans un tel rapport que le premier contînt six fois autant d'oxigène que le dernier, 100 p. de cette combinaison devraient gagner 0.013 en poids en se changeant en acide tungstique. L'acide tungstique exposé aux rayons du soleil ou à un feu très-vif devient d'un vert foncé ; mais il conserve cette couleur. Son poids n'en est pas altéré.

J'ai trouvé que le tungstène a un degré d'oxidation inférieur à celui de l'acide. On le produit en faisant passer du gaz hydrogène sur de l'acide tungstique chauffé à rouge dans un tube de verre. Lorsque le gaz hydrogène passe sans déposer des vapeurs d'eau, l'acide est réduit à l'état d'oxide. Cet oxide est une poudre couleur de chocolat qui, par la voie humide, ne se laisse combiner ni avec les acides ni avec les bases. Il prend feu à une température bien au-dessous du rouge, et brûle comme de l'amadou. 100 p. de cet oxide produisent 107 p. d'acide tungstique, d'où il s'ensuit que l'oxigène dans cet oxide est à celui dans l'acide comme 2 : 3.

VIII. *Sur les Oxides de l'antimoine et sur la Capacité de saturation de ses acides.*

J'ai publié, il y a quelques années, un Mémoire sur les degrés d'oxidation de l'antimoine, où j'ai établi que

ce métal a un oxide salifiable et deux acides. Quant à la composition de ces différens degrés d'oxidation, je crus trouver que 100 p. d'antimoine se combinent avec 37.3 p. de soufre, et que ce sulfure se dissout dans l'acide muriatique en donnant du gaz hydrogène sulfuré et du muriate d'ammoniaque, sans excès ni d'hydrogène ni de soufre. Il s'ensuit que, dans l'oxide salifiable, 100 p. de métal doivent être combinées avec 18.6 p. d'oxigène. Ces données étant celles sur lesquelles je croyais pouvoir compter avec le plus de sûreté, je considérai les analyses des autres degrés d'oxidation, quoique leurs résultats ne fussent point satisfaisans, comme des approximations à une composition telle que l'acide antimonieux devait contenir une fois et demie autant d'oxigène que l'oxide, et l'acide antimonique deux fois autant, tous les trois sur la même quantité de métal. M. Thomson ayant ensuite, de son côté, fait quelques expériences sur la composition de ces corps, qui ne s'accordent pas avec celles que j'ai faites, je repris l'examen des oxides de l'antimoine, en cherchant à trouver du moins un point assez fixe pour déterminer les autres, moins faciles à trouver avec assez de précision.

J'en ai trouvé deux qui sont très-faciles à vérifier : le premier, c'est que 100 p. d'antimoine pur, oxidées par de l'acide nitrique pur, et après l'évaporation de l'acide chauffé à rouge pour décomposer toute trace d'acide antimonique formé en même temps que l'acide antimonieux, donnent 124.8 p. de ce dernier, d'une couleur blanche qui ne jaunit point à une température élevée. Si on ne prend point cette précaution de chauffer assez la masse oxidée, on obtient différentes quantités d'oxi-

gène, variant entre 26 et 28, et la masse est ou jaune pâle, ou devient jaune lorsqu'on la chauffe. Le second point également invariable dans plusieurs expériences, c'est que, lorsqu'on mêle de l'acide antimonieux pur avec de l'antimoine pulvérisé, et qu'on les chauffe ensemble dans un vaisseau où l'air n'a point d'accès, l'acide se convertit en oxide fusible, en s'unissant avec une portion du métal ajouté, laquelle fait exactement le tiers de la quantité d'antimoine contenue dans l'acide antimonieux. Cette dernière circonstance prouve d'une manière évidente que le rapport entre l'oxigène dans l'oxide et celui dans l'acide antimonieux est comme 3:4, et non pas comme 2:3, ainsi que je l'avais conclu auparavant par analogie avec la plupart des autres oxides. Aussi les nombres trouvés par l'expérience directe, savoir 18.6 et 24.8, sont d'un parfait accord avec cette dernière expérience.

Dans les expériences pour obtenir de l'acide antimonique, le métal ne gagna jamais plus de 31 part. d'oxigène sur 100 part. de métal, et quelquefois même ce gain n'excéda pas 29.5 ou 30 part. Il est évident que ces nombres sont à ceux qui expriment la quantité d'oxigène dans l'acide antimonieux et dans l'oxide d'antimoine, comme 5 est à 4 et à 3.

Les degrés d'oxidation connus de l'antimoine sont donc composés de la manière suivante:

	Oxide.		Acide antimonieux.		Acide antimonique.	
Antimoine,	84.32	100.0	80.13	100.0	76.34	100;
Oxigène,	15.68	18.6	19.87	24.8	23.66	31.

Dans mes anciennes expériences (*Annales de Chimie*,

t. LXXXVI, pag. 242), j'ai trouvé que 100 part. d'acide antimonique saturent une quantité de base dont l'oxigène est 4.471 ; or, 4 471×5=22 355 ; ce qui s'accorde assez bien avec les nombres trouvés par l'expérience directe. Mon analyse ancienne de l'hydrate de cet acide s'écartait beaucoup de ces rapports ; c'est pourquoi je l'ai reprise et j'ai tâché d'y porter tous les soins imaginables. J'ai oxidé de l'antimoine pur moyennant de l'acide nitro-muriatique, et lorsque la plus grande partie de l'acide excédant a été évaporée, j'ai étendu le mélange avec beaucoup d'eau, et j'ai lavé la poudre blanche, ainsi obtenue, aussi long-temps que l'eau de lavage a donné des traces d'acidité. L'acide hydraté, bien séché, a été ensuite chauffé dans une petite cornue exactement pesée et munie d'un récipient pour recevoir l'eau. 100 part. d'acide donnèrent d'abord 5 part. d'eau très-pure et sans traces d'acidité, et furent converties en une poudre jaune de citron. A la température rouge, celle-ci donna de l'oxigène, et laissa pour résidu 90.48 part. d'acide antimonieux blanc. Les 5 part. d'eau contiennent 4.45 p. d'oxigène. L'acide en avait perdu, pour devenir acide antimonieux, 4.52 part., et ce dernier contient 17.98 part. d'oxigène : mais 4.45×4=17.8. L'acide hydraté est donc composé d'une manière analogue à celle des autres acides combinés avec de l'eau.

Dans les analyses que j'ai faites d'antimonites, j'ai trouvé que la base se combine toujours avec la même quantité d'antimoine, comme si c'était un antimoniate, tout comme cela a lieu avec les sulfates et les sulfites, les phosphates et les phosphites, etc. (Voyez *Annales de Chimie*, t. LXXXVI, p. 251.) Il s'ensuit donc que la capa-

cité de saturation de l'acide antimonieux est 4.97, c'est-à-dire, $\frac{1}{4}$ de la quantité d'oxigène contenue dans l'acide.

IX. *Sur la Composition de la Silice.*

Dans mon premier Mémoire sur la décomposition de la silice moyennant le charbon et le fer, j'ai fait voir que cette terre contient environ la moitié de son poids d'oxigène. Une connaissance exacte de la composition de cette terre est devenue ensuite nécessaire aux progrès de la science, puisque nous avons trouvé que cette terre, au lieu d'être une substance presque inactive, est un acide qui, quoique doué de très-faibles affinités, produit avec les bases un nombre presque infini de combinaisons, dont pour le moins la croûte de notre globe est composée. Je crois avoir prouvé que la silice obéit aux mêmes lois que les autres acides, et que la connaissance des silicates est la partie la plus importante de la minéralogie.

M. Stromeyer, qui répéta mes expériences sur la réduction de la silice, crut trouver que cette terre contient jusqu'à 55 centièmes d'oxigène. Ce nombre ne s'accordait point avec les analyses des silicates, que je considérais comme les plus exactes; tandis que, au contraire, le nombre 50 déduit de mes expériences parut satisfaisant. Cependant, comme ces expériences n'étaient point d'une nature à pouvoir donner un résultat bien exact, je crus devoir me servir des expériences de M. John Davy sur l'acide fluosilicique, pour calculer la composition de la silice. Il s'ensuit desdites expériences que la capacité de saturation de l'acide fluorique serait 79,

que 100 p. d'acide fluorique se combineraient avec 159 p. de silice, et que par conséquent la silice devrait contenir 49.64 p. c. d'oxigène. Mais comme j'ai trouvé après que l'acide fluorique a une capacité de saturation beaucoup moins considérable, il me fallait d'autres expériences pour vérifier la composition exacte de cette terre. Je commençai donc une série d'expériences sur la composition de l'acide fluosilicique, lesquelles cependant, en prouvant que le résultat trouvé par Mr J. Davy n'était pas exact, n'eurent point la précision requise. J'essayai d'abord de décomposer l'acide fluosilicique gazeux par l'eau; mais je trouvai que la quantité de silice précipitée varia d'après la quantité d'eau ajoutée. Je me servis ensuite d'une dissolution de borax qui décomposa le gaz fluosilicique complètement, en formant du fluoborate de soude; mais lorsque je voulus laver la silice, elle diminua visiblement de volume, et le liquide, évaporé à un certain degré, se prit en une masse gélatineuse sans qu'il fût possible de séparer la silice redissoute d'une manière bien évidente. Je substituai ensuite le carbonate de potasse au borax. Il se forma du fluosilicate de potasse en forme d'une poudre blanche et gélatineuse. Mais je trouvai que cette substance n'est point entièrement insoluble dans l'eau, et que l'on en perd beaucoup en la lavant; encore l'acide qu'elle contient n'est point composé comme le gaz fluosilicique, puisque le fluosilicate de potasse décomposé par l'acide sulfurique donne un gaz qui attaque fortement le verre. Comme aucune des substances liquides employées ne répondit à mon attente, je crus devoir essayer de faire absorber le gaz fluosilicique par une substance solide, savoir : l'acide bo-

rique cristallisé. L'acide borique, mis dans des petits verres exactement pesés, fut introduit dans le gaz sur du mercure. L'acide absorba le gaz fluosilicique lentement, et se gonfla un peu en même temps; mais de treize expériences, dans lesquelles l'acide borique fut exposé à l'influence du gaz aussi long-temps qu'une absorption eut lieu, il n'y en avait point deux qui s'accordassent quant au poids du gaz absorbé. La combinaison ternaire ainsi produite, au lieu d'attirer l'eau, la repoussa d'abord comme si la poudre eût été grasse; mais étant entièrement submergée sous l'eau, elle produisit avec cette dernière une faible chaleur, l'acide fluoborique fut dissous et la silice resta au fond. De l'ammoniaque ajoutée au liquide acide en sépara encore un peu de silice; mais la silice ainsi obtenue jouissait de la même solubilité que celle précipitée moyennant la dissolution du borax. Les eaux de lavage, évaporées, laissèrent toujours de forts résidus, qui ne consistaient qu'en silice pure, et cette solubilité augmenta à mesure que le liquide qui passait par le filtre fut moins chargé de fluoborate d'ammoniaque. La grande solubilité de la silice ainsi obtenue est très-remarquable et nous fournit un moyen de rendre cette terre soluble dans l'eau; mais aussi elle était cause que cette méthode ne donnait point de résultat pour le but que je cherchais. Il est clair qu'en déterminant combien l'acide borique avait augmenté en poids par l'absorption du gaz fluosilicique, et en trouvant ensuite le poids de la silice, l'analyse aurait été très-facile. Dans trois expériences, qui se rapprochèrent assez bien entre elles, j'eus 138.5, 139 et 140.5 p. de silice sur 100 p. d'acide fluorique. Mais

comme la composition de la silice était connue à-peu-près, et qu'il ne fallait ici que déterminer les derniers nombres décimaux, ces variations étaient trop considérables pour pouvoir servir de base à un calcul.

J'eus donc recours à l'expérience suivante : j'ai fondu ensemble 2 gramm. d'alumine pure, 3 gramm. de silice pure et 15 gr. de carbonate de potasse. La masse fondue a été traitée avec de l'eau aussi long-temps que celle-ci n'en a rien extrait. Le résidu insoluble était une poudre blanche que j'ai dissoute dans de l'acide muriatique. La dissolution s'est faite sans effervescence et sans résidu. J'ai fait évaporer le liquide à siccité à une douce chaleur. La masse, sèche, a été mouillée par quelques gouttes d'acide muriatique concentré, et on l'a laissée ainsi pendant douze heures. Le but de cela fut de reprendre par l'acide la partie de l'alumine, qui aurait pu perdre son acide par le desséchement. Je l'ai ensuite délayée dans l'eau et filtrée. La silice qui restait non dissoute pesait 1.385 gr. Le liquide, filtré, a été précipité par du carbonate d'ammoniaque. L'alumine, ainsi séparée, pesait 1,136 gr. Reprise par de l'acide muriatique concentré, l'alumine a laissé 0,004 gr. de silice non dissoute, de manière que le poids de l'alumine ne fut que 1.132 gr., et celui de la silice 1.389. Le liquide ammoniacal, ainsi que les eaux de lavage, ont été évaporés à sec, et la masse saline exposée au feu jusqu'à ce que le muriate d'ammoniaque en fût chassé. Il resta 1.600 gr. de muriate de potasse, équivalens à 1.012112 gr. de potasse pure. De ces données, j'ai calculé la composition de la silice de la manière suivante : 1.132 gr. d'alumine contiennent 0.52893 gr. d'oxigène;

la quantité précitée de potasse en contient 0.17173 ; ces deux quantités additionnées font 0.70066. Comme, par la grande quantité de potasse employée à la préparation de cette combinaison, il y avait un grand excès de base, la silice a dû en être parfaitement saturée, c'est-à-dire que l'oxigène de la silice doit être ou égal en quantité à celui des bases, ou bien un sous-multiple de ce dernier; mais comme les expériences directes montrent que la silice contient environ la moitié de son poids d'oxigène, il est nécessaire que, dans l'expérience précitée, son oxigène n'ait pu être qu'égal en quantité à celui des bases, et que par conséquent 1.389 gr. de silice doivent contenir 0.70066 gr. d'oxigène; or, 138.9 : 70.066=100 : 50,359 (1).

J'ai voulu constater ce résultat par quelque analyse d'une combinaison minérale facile à décompo-

---

(1) En comparant les résultats de l'analyse précédente, on trouve que l'alumine contient trois fois l'oxigène de la potasse; car 1.7173×3=5.1519. La petite différence est due à une perte inévitable de potasse, laquelle devait se reproduire dans toutes les opérations faites pour la séparer des autres subtances. Nous retrouvons ici le même rapport que dans l'alun et dans le feldspath, et la combinaison a été pour ainsi dire un feldspath avec excès de base; car les bases y ont été combinées avec exactement un tiers autant de silice que dans le feldspath. J'ai ajouté une dissolution de potasse saturée d'alumine à une solution de potasse également saturée de silice. Il s'est fait un précipité dans lequel les deux bases étaient dans le même rapport entre elles, mais combinées avec deux fois la quantité de silice trouvée plus haut, c'est-à-dire que ce précipité est la composition de l'amphigène.

ser et pure, et j'ai choisi, à cette fin, un cristal limpide d'apophyllite d'Uto. Je l'ai divisé en deux morceaux, dont l'un a servi pour déterminer la quantité d'eau de cristallisation, et l'autre a été dissous dans de l'acide muriatique. La dissolution a été neutralisée par de l'ammoniaque, et ensuite précipitée par de l'oxalate d'ammoniaque. Le liquide, séparé de la chaux, a été évaporé à sec, et le résidu, chauffé jusqu'à ce que le muriate d'ammoniaque fût volatilisé. De cette manière, 2 gramm. d'apophyllite ont donné : silice, 1,058; carbonate de chaux, 0.894; muriate de potasse, 0.1665; et eau, 0.32 gramm.

L'expérience a été répétée avec un résultat qui ne varia que d'un ou deux milligrammes. Le minéral est donc composé de silice, 52.900, chaux 25.207; potasse, 5.266, et eau, 16.00.

L'oxigène de la potasse est 0.8925, et celui de la chaux, 7.08.

Il est connu, par des analyses publiées déjà, que, dans l'apophyllite, la potasse, par rapport à sa capacité de saturation, est combinée avec une double dose de silice comparativement à la chaux : or, si la portion de silice combinée avec la chaux contient trois fois autant d'oxigène que la chaux, celle combinée avec la potasse doit contenir six fois l'oxigène de cette dernière : or, l'oxigène de la potasse, multiplié par 6 et ajouté à celui de la chaux multiplié par 3, fait 26.595. Mais, d'après le résultat trouvé plus haut, les 52.9 part. de silice doivent contenir 26.65 part. d'oxigène. Les deux expériences ne varient donc que d'un millième du poids de la silice. La silice est donc composée de :

	1re Expérience.	2e Expérience.
Silicium,	49.641	49.716;
Oxigène,	50.359	50.284.

La moyenne des deux serait à-peu-près 50.3 centièmes d'oxigène dans la silice.

X. *Sur la Composition du deutoxide de cuivre.*

M. Proust est le premier qui ait déterminé avec quelque exactitude la composition de cet oxide. Il fit dissoudre 100 part. de cuivre dans de l'acide nitrique, précipita par du sous-carbonate de potasse, poussa le précipité au feu, et obtint 125 part. d'oxide noir.

Dans mes premières expériences sur cet oxide (*loc. cit.*, p. 28), je n'obtins pas un résultat parfaitement d'accord avec celui de M. Proust. Voulais-je précipiter par du sous-carbonate de potasse, celui-ci retenait toujours de l'oxide de cuivre, qui lui donnait une couleur verte. D'un autre côté, lorsque je fis évaporer à sec le nitrate de cuivre, et le distillai ensuite dans une cornue, une petite partie de l'oxide fut volatilisée par l'acide. Tenant compte, tant de la partie dissoute par l'alcali, que de celle volatilisée par l'acide, mes résultats ne donnèrent jamais au-delà de 24.5 part. d'oxigène sur 100 p. de métal. Je trouvai cependant que ces nombres n'étaient point exacts, parce que 100 part. de cuivre donnent 125.6 part. de sulfure de cuivre.

J'eus donc recours à la méthode par laquelle j'ai analysé l'oxide de plomb, savoir, à la réduction de l'oxide de cuivre moyennant un courant de gaz hydrogène. Cette

réduction se fait avec une telle facilité, que si l'on plonge un morceau d'oxide de cuivre fortement chauffé, mais non pas rouge, dans une fiole remplie de gaz hydrogène, l'oxide prend feu, brûle, se réduit, et l'eau ruisselle sur les parois de la fiole.

L'oxide de cuivre employé dans les expériences suivantes fut séparé de sa dissolution dans de l'ammoniaque caustique, repris par l'acide nitrique, précipité par du sous-carbonate de potasse ajouté en excès, et ensuite poussé au feu. La décomposition a été faite dans le même appareil qui avait servi pour la décomposition de l'oxide de plomb. L'oxide de cuivre a une très-grande propension à attirer l'humidité de l'air; car étant retiré du feu le moment avant son introduction dans la petite boule de verre où il devait être réduit, il donnait encore de l'humidité lorsque je le chauffais dans la boule. Cette eau dut probablement son origine à l'humidité de l'air respiré dont il fut atteint pendant son introduction. C'est une circonstance qui mérite l'attention de tous ceux qui se servent de l'oxide de cuivre pour l'analyse des substances organiques. Par cette raison, je fis sécher l'oxide dans la boule, en le chauffant à rouge, et en faisant passer un courant d'air sec par la boule durant l'échauffement. L'eau produite par la réduction de l'oxide était limpide, sans goût, sans réaction sur les couleurs végétales, et s'évapora sans résidu.

1. 7 68075 gr. d'oxide de cuivre ont perdu 1.55 gr. d'oxigène.

2. 9.6115 gr. d'oxide de cuivre ont perdu 1.939 gr. d'oxigène.

La première de ces expériences donne 25.2824 part.

d'oxigène sur 100 part. de métal ; la seconde donne 25.272 part. sur cette même quantité de cuivre. Je considère cette dernière, où la quantité d'oxide réduit était plus grande, comme peut-être la plus exacte.

L'oxide de cuivre est donc composé de :

Cuivre,	79.825	100.000;
Oxigène,	20.175	25.272.

Nouveau *Moyen d'analyser les pierres alcalines.*

Par Mr P. Berthier, Ingénieur des Mines.

On sait que la plupart des pierres sont des silicates simples ou multiples, ou des combinaisons de silice avec des terres, des alcalis et des oxides de fer et de manganèse. Elles sont le plus souvent inattaquables par les acides : ceux-ci n'agissent sur elles que lorsqu'elles renferment un grand excès de base ou lorsqu'elles contiennent beaucoup d'eau de cristallisation. Pour les analyser, on les fait fondre ordinairement avec de la potasse ou avec de la soude ; mais lorsque l'un de ces alcalis se trouve au nombre de leurs principes constituans, il faut avoir recours à d'autres agens : on se sert alors ou de baryte ou d'acide borique.

La baryte serait d'un usage fort commode si, par son moyen, on pouvait attaquer complètement une pierre en une seule opération ; mais on sait qu'il n'en est pas ainsi, et que, pour obtenir une décomposition totale, il faut chauffer à diverses reprises, avec du nitrate ou du

carbonate de baryte, la partie de la matière que les acides ne peuvent dissoudre ; ce qui, en multipliant les opérations, emploie du temps et occasione des pertes. Cet effet résulte de ce que la combinaison qui se forme n'étant pas fusible à la température de 50 à 60° pyrométriques, à laquelle on opère ordinairement, l'action de la baryte ne peut pénétrer que difficilement jusqu'au centre de chaque particule de la pierre. Si l'on portait la température jusqu'à 150°, la fusion aurait certainement lieu ; car les silicates de baryte sont fusibles à cette température, et sont par conséquent propres à déterminer la fusion des autres silicates ; mais on courrait le risque de perdre une portion considérable de l'alcali par volatilisation (1).

L'acide borique étant extrêmement fusible, et donnant lieu à des combinaisons qui le sont également, attaque les pierres avec une très-grande facilité et les rend complètement solubles dans les acides. Néanmoins on l'emploie

---

(1) Toutes les fois que l'on chauffe à une très-haute température un verre alcalin avec des bases fixes employées en proportions convenables pour former une combinaison fusible avec la silice, il se volatilise une portion de l'alcali : c'est un fait que j'ai constaté par une expérience directe. J'ai soumis à la température d'un four à porcelaine, dans un creuset brasqué de charbon, un mélange, exactement pesé, de verre à vitre, contenant 0,16 de soude, de l'alumine et du carbonate de chaux : j'ai obtenu une matière bien vitrifiée, et j'ai reconnu, par son poids, qu'il avait dû se volatiliser 0,09 de soude, c'est-à-dire, plus de la moitié de ce qu'en contenait le verre à vitre.

moins souvent que la baryte, parce que sa présence complique la suite de l'analyse, surtout en ce qui concerne la séparation de l'alcali.

Comme l'oxide de plomb est aussi très-fusible et forme des silicates qui se fondent assez facilement, et comme il est aisément précipité de ses dissolutions par l'acide sulfurique et par l'hydrogène sulfuré, j'ai pensé qu'on pourrait s'en servir dans l'analyse des pierres alcalines, et qu'il réunirait tous les avantages qu'offrent séparément la baryte et l'acide borique, sans avoir aucun de leurs inconvéniens. L'essai que j'en ai fait m'a parfaitement réussi, et depuis plus d'un an je l'emploie constamment au laboratoire de l'Ecole des Mines. L'usage de ce nouvel agent est si commode, que je crois rendre service aux personnes qui s'occupent d'analyse minérale, en le leur faisant connaître : il leur facilitera la recherche des alcalis dans les pierres ; cette recherche est au nombre de celles qui peuvent contribuer le plus aux progrès de la minéralogie.

Je me suis d'abord servi de carbonate de plomb (céruse de Clichy bien pure) dans la proportion de trois fois le poids de la pierre. En chauffant au rouge dans un creuset de platine, ou même dans un creuset d'argent, la fusion a été parfaite et la matière s'est laissée ensuite attaquer complètement par les acides. Mais j'ai remarqué que les creusets devenaient souvent raboteux dans l'intérieur, et il m'est même arrivé deux fois de les percer. J'ai reconnu que ces accidens étaient occasionés par l'action fondante qu'exerce sur l'argent et sur le platine une petite quantité de plomb métallique qui se produisait pendant l'opération, et que la production de ce

plomb métallique pouvait avoir deux causes : 1° la présence dans la pierre d'une substance susceptible de réduire l'oxide de plomb, telle que le charbon et peut-être le protoxide de fer; 2° le contact des vapeurs combustibles qui émanent du foyer, et qui finissent par remplir le creuset en en chassant l'air atmosphérique, surtout lorsqu'on ne le tient pas constamment fermé. Il serait possible de remédier à la première cause en calcinant préalablement la pierre avec le contact de l'air; mais il paraît difficile d'éviter complètement les fâcheux effets de la seconde.

Pour obvier à ces inconvéniens, qui auraient suffi pour faire abandonner le procédé, j'ai substitué le nitrate de plomb à la céruse, dans l'espoir que l'acide nitrique suroxiderait toutes les matières avides d'oxigène, et qu'il remplirait le creuset de vapeurs nitreuses qui empêcheraient les vapeurs combustibles d'y pénétrer. C'est effectivement ce qui est arrivé. L'expérience m'a appris que l'on pouvait même se contenter de mêler au carbonate de plomb une certaine proportion de nitrate.

Voici comment il faut opérer. On porphyrise la pierre et on la mêle exactement avec 2 part. de nitrate de plomb et 1 part. de céruse également porphyrisés; on met le tout dans un petit creuset de platine couvert, et on place ce creuset dans un autre creuset que l'on ferme aussi avec son couvercle. On chauffe les creusets dans un fourneau ordinaire, et on les tient au rouge pendant un quart d'heure seulement, sans les découvrir. La fusion a lieu tranquillement et sans aucun boursoufflement, et l'on obtient un verre jaunâtre ou brunâtre, transparent et liquide. On saisit le petit creuset avec une pince, on le

renverse au-dessus d'une capsule qui contient de l'eau, et on en fait sortir le plus de matière que l'on peut à l'aide de la spatule, puis on le plonge lui-même dans l'eau. La substance vitreuse, subitement refroidie, se divise en petits fragmens et devient facilement attaquable par les acides. On la fait bouillir avec de l'acide nitrique pur, et on l'écrase de temps en temps avec un pilon d'agate ou de porcelaine : la silice reste pure dans un état visqueux. On précipite l'oxide de plomb par l'acide sulfurique, et l'on s'assure que la liqueur n'en retient plus au moyen de l'hydrogène sulfuré. On fait bouillir ensuite avec du carbonate d'ammoniaque, et on analyse le précipité par les moyens ordinaires ; enfin, on évapore la liqueur à siccité ; on calcine les sels dans un creuset de platiue, on recueille le résidu, et on le pèse.

Ce résidu contient l'alcali à l'état de sulfate, quelquefois un peu acide, et presque toujours du sulfate de magnésie. Il y a plusieurs moyens d'en faire l'analyse : je vais indiquer succinctement les trois principaux.

1°. On précipite l'acide sulfurique par l'acétate de baryte, le poids du précipité donne la proportion de l'acide sulfurique ; on précipite ensuite l'excès de baryte par le carbonate ou par l'oxalate d'ammoniaque ; on évapore à siccité et on calcine les sels : le résidu est un mélange de sous-carbonate alcalin et de magnésie caustique ; on le pèse : on le laisse exposé à l'air, il tombe bientôt en déliquescence, s'il contient de la potasse ; on le traite par l'eau, la magnésie reste ; on la pèse, et on a, par différence, le poids du carbonate alcalin : on examine ensuite si ce carbonate est à base de potasse, de soude ou de lithion. Lorsque les sulfates obtenus sont bien

neutres, il suffit de déterminer très-exactement la proportion de l'acide sulfurique et de la magnésie pour connaître la nature de l'alcali; les autres déterminations ne servent que de moyens de vérification.

2°. On précipite en même temps l'acide sulfurique et la magnésie par l'eau de baryte, puis l'excès de baryte par le carbonate d'ammoniaque; on évapore et on calcine: on a le sous-carbonate alcalin pur. On sépare ensuite la magnésie du sulfate de baryte au moyen d'un acide.

3°. On précipite la magnésie par l'eau de chaux, la chaux par le carbonate ou par l'oxalate d'ammoniaque; on évapore, et on calcine: on a alors la magnésie immédiatement, et l'alcali à l'état de sulfate.

Comme l'analyse des pierres par la potasse est toujours plus simple et plus facile que celle que l'on peut faire par tout autre moyen, lorsqu'on n'a pas la certitude de la présence d'un alcali, il est convenable d'en faire d'abord la recherche, indépendamment de toutes les autres substances. On procède à cette recherche comme il suit:

On mêle la pierre porphyrisée avec trois fois son poids de céruse (1); on met le mélange dans un creuset de Hesse de grandeur telle qu'il en soit à moitié rempli, et l'on introduit ce creuset dans un autre creuset de même

(1) Comme on n'opère pas dans un creuset métallique, il est inutile de mêler la céruse de nitrate de plomb, qui coûte beaucoup plus cher. On pourrait remplacer la céruse par le minium ou par la litharge.

espèce. On chauffe à la chaleur blanche, jusqu'à ce que la matière soit parfaitement liquide. Alors on retire le petit creuset, et lorsqu'il est refroidi, on le concasse, et on trie avec soin le verre et toutes les portions du creuset auquelles il adhère. On réduit le tout en poudre fine, et l'on fait bouillir cette poudre avec de l'acide muriatique du commerce. Quand on juge que l'acide a suffisamment agi, on évapore à siccité, on reprend par une petite quantité d'eau bouillante, on décante et on lave à plusieurs reprises avec peu d'eau. La silice se trouve séparée avec la plus grande partie du plomb à l'état de muriate. On précipite ce qu'il en reste dans la dissolution, ainsi que toutes les terres et les oxides métalliques qui proviennent de la pierre, par l'eau de chaux, puis la chaux par le carbonate d'ammoniaque bouillant; on évapore à siccité, on ajoute au résidu un peu d'acide sulfurique, et on le calcine; l'alcali reste à l'état de sulfate. Si l'on était assuré de l'absence de la magnésie, on pourrait précipiter immédiatement la liqueur muriatique par le carbonate d'ammoniaque, sans employer l'eau de chaux.

En terminant, je vais rapporter, sous forme de tableau, le résultat de quelques analyses de pierres alcalines, faites par le procédé que je viens de décrire.

	Adulaire. (1)	Pétro-silex. (2)	Ponce. (3)	Domite. (4)	Domite. (5)	Lave vitreuse. (6)
Silice.	0,6420	0,7520	0,7000	0,6550	0,6100	0,6440
Alumine.	0,1840	0,1500	0,1600	0,2000	0,1920	0,1564
Potasse.	0,1695	0,0340	0,0650	0,0910	0,1150	0,0540
Chaux.	trace.	0,0120	0,0250	0,0220	......	0,0120
Magnésie.	......	0,0240	.....	.....	0,0160	0,0120
Ox. de fer.	......	.....	0,0050	0,0300	0,0420	0,0430
Eau.	......	0,0150	0,0300	.....	0,0200	0,0710
	0,9955	0,9870	0,9850	0,9980	0,9950	0,9924

(1) Feld-spath limpide du Saint-Gothard. Sa composition se rapproche beaucoup de celle qui est exprimée par la formule $KS^3 + 3AlS^3$. Ce feld-spath ayant été exposé dans un creuset brasqué à la température du four à porcelaine de Sèvres, a perdu 0,01 de son poids et s'est fondu en un verre incolore, transparent et rempli d'une multitude de très-petites bulles.

(2) Pétro-silex des environs de Nantes, compacte, d'un gris verdâtre clair, opaque, à cassure grenue et presque terreuse; cette roche est évidemment composée : il est probable qu'elle résulte d'un mélange de feld-spath compacte avec une matière argileuse et peut-être avec un peu d'amphibole.

(3) Pierre ponce du commerce. Chauffée dans un creuset brasqué au four à porcelaine de Sèvres, elle s'est fondue en un verre transparent, grisâtre et rempli de grosses bulles, et elle a perdu 0,045 de son poids.

(4) Domite du Puy-de-Dôme (trachite). Chauffée dans un creuset brasqué au four à porcelaine de Sèvres, elle s'est fondue en un verre transparent, grisâtre, bulleux et recouvert d'une multitude de petites grenailles de fonte, et elle a perdu 0,02 de son poids.

(5) Domite du Pertuis, route du Puy à Saint-Etienne (trachite). Elle est blanche avec un éclat un peu nacré; sa cassure est feuilletée et un peu écailleuse.

Les trois dernières substances ont long-temps été désignées sous le nom de *laves feld-spathiques*. Elles ont effectivement de l'analogie avec le feld-spath; mais on voit qu'elles ne peuvent être uniquement composées de ce minéral, et que si elles en contiennent réellement, il y est très-mélangé.

(6) Lave vitreuse du Cantal. Elle est compacte, sans bulles ni cavités, d'un vert assez foncé et translucide; sa cassure est vitreuse et luisante; sa pesanteur spécifique est de 2,29. Elle n'exerce aucune action sur le barreau aimanté. Elle renferme des parties lamelleuses blanches que l'on croit être du feld-spath. On en a séparé ces lames avec le plus grand soin, et l'analyse a été faite sur la pâte verte pure. Dans cette lave, le fer est à l'état de protoxide et combiné avec la silice comme les autres bases. On voit qu'elle est loin d'être identique avec le feld-spath : elle s'en rapproche seulement en ce que les silicates qui la composent paraissent être à-peu-près au même degré de saturation que dans ce minéral.

Recherches *sur les Combinaisons des oxides avec le chlore, l'iode et le cyanogène.*

Par Mr Ph. Grouvelle.

Depuis long-temps on connaît l'existence du chlorure de chaux, et cependant son emploi dans les arts n'a pas attiré l'attention particulière des chimistes sur les combinaisons de ce genre.

M. Vauquelin, en étudiant les propriétés de l'acide chlorique, a signalé plusieurs cas où il se forme des chlorures d'oxide, quoiqu'il laissât lui-même subsister un nuage sur la véritable nature de la plupart d'entre eux. C'est, à ma connaissance du moins, M. Welter, qui le premier s'est occupé de l'analyse du chlorure de chaux. Il l'a trouvé composé d'une demi-proportion de chlore et d'une proportion de chaux. Il a prouvé de plus, qu'il ne se formait pas de chlorate dans l'action du chlore sur la chaux.

M. Thomson a depuis analysé le même chlorure, en le traitant par l'eau, puis précipitant le chlore par le nitrate d'argent : il en a conclu qu'un peu moins de moitié de la chaux était combiné au chlore pour former un chlorure neutre, et que le reste était libre ; mais M. Gay-Lussac a fait observer avec justesse qu'il était extrêmement probable que tout l'alcali était combiné : que de plus, M. Thomson n'avait pas précipité la totalité du chlore, puisque, dans l'action du nitrate d'argent sur le chlorure de chaux, il se formait du chlorate d'argent, qui restait dissous : qu'il pensait, en conséquence, que le sous-chlorure donnait, en se dissolvant,

un chlorure neutre, et abandonnait la moitié de sa chaux.

C'est pour remplir cette lacune dans l'histoire des combinaisons du chlore, que j'ai pensé utile d'étudier celles qu'il est susceptible de former avec les oxides. On peut, je crois, leur donner simplement le nom de *chlorures d'oxide*, réservant celui d'*oxi-chlorures*, proposé par M. Gay-Lussac, ou mieux peut-être d'*oxido-chlorures*, pour des combinaisons de chlorures et d'oxides, dont je parlerai plus tard.

Pour constater les résultats de M. Welter, j'ai traité le chlorure de chaux par la potasse à l'alcool, à une douce chaleur. J'ai évaporé et calciné le sel produit, afin de décomposer le chlorate, et j'ai précipité par le nitrate d'argent le chlore du chlorure de potassium. La chaux a été couvertie en sulfate. Dans une autre expérience, j'ai immédiatement calciné le chlorure de chaux, et précipité par le nitrate d'argent. Il ne se dégage, dans la calcination, qu'une très-petite quantité de chlore. Les résultats obtenus donnent, pour la composition du sous-chlorure de chaux :

Hydrate de chaux, 1 atome,	936,92	67,914;
Chlore, 1 atome,	442,65	32,086.
	1379,57	100,».

Et pour celle du chlorure neutre dissous :

Hydrate de chaux, 1 atome,	51,416;
Chlore, 2 atomes,	48,584.
	100.

La dissolution de chlorure de chaux, soumise à une

longue ébullition, ne s'altère pas sensiblement; car elle conserve la propriété de décolorer l'indigo, même après avoir été évaporée à siccité, sans être toutefois desséchée. Pendant l'évaporation, on sent une légère odeur de chlore. Traitée par un acide, elle dégage ce gaz en grande quantité; le sulfate et le phosphate d'ammoniaque y produisent un précipité de sulfate et de phosphate de chaux, et il se dégage de l'azote provenant de la décomposition de l'ammoniaque par le chlore.

La dissolution de chlorure de chaux, exposée à l'air, se couvre bientôt d'une couche de carbonate, et finit par ne plus décolorer l'indigo. L'oxigène de l'air n'entre pour rien dans ce phènomène; car du chlorure neutre de chaux renfermé dans un vase à moitié plein d'air, auquel était adapté un tube plongeant dans l'eau, n'a rien absorbé. Le chlorure de chaux, conservé en dissolution, dégage sans doute quelques bulles d'oxigène, et se convertit lentement en chlorure métallique; il se forme probablement aussi du chlorate. La décomposition du chlorure de chaux est donc presque totalement due à l'acide carbonique de l'air. Quand on fait passer un courant de ce gaz à travers une dissolution de chlorure de chaux, il se dégage beaucoup de chlore; une longue ébullition le chasse totalement, mais avec peine, et la liqueur ne décolore plus l'indigo. Il reste en dissolution du chlorure de calcium. Le chlorure de baryte sec, exposé deux jours dans une atmosphère d'acide carbonique, est totalement décomposé.

Le chlorure d'hydrate de baryte sec n'est pas un sous-chlorure, comme celui de chaux, mais un chlorure neutre formé de deux atomes de chlore et d'un atome

d'hydrate de baryte. Il en est probablement de même de celui de strontiane.

Il est possible que cette différence de composition entre les chlorures secs de chaux et de baryte soit due à ce que, s'il ne se formait qu'un sous-chlorure de baryte, sa dissolution serait également un sous-chlorure, puisque la baryte libre se dissoudrait avec le chlorure neutre de baryte. Deux analyses, parfaitement d'accord entre elles, ont confirmé ce résultat. Sa composition est donc :

Hydrate de baryte, 1 atome,	2138,73	70,72;
Chlore, 2 atomes,	885,30	29,28.
Chlorure, 1 atome,	3024,03	100.

Ses propriétés sont les mêmes que celles du chlorure de chaux neutre.

L'hydrate de zinc se dissout très-facilement dans le chlore ; la dissolution, soumise à l'ébullition pendant un quart d'heure, décolore encore fortement l'indigo. Evaporée à siccité, elle laisse de l'oxide de zinc, après avoir dégagé un peu de chlore. On l'a analysé par le nitrate d'argent et le sous-carbonate de soude bouillant.

Le chlorure d'oxide de zinc est formé de :

Oxide de zinc (probablement hydraté)	1 at.	1006,45	53,2;
Chlore............................	2 at.	885,30	46,8.
		1891,75	100.

L'histoire du chlorure de magnésie et du chlorure d'oxide de cuivre est la même que celle du chlorure d'oxide de zinc.

L'hydrate de tritoxide de fer, comprimé fortement entre des papiers, et en outre séché légèrement pour lui enlever le plus d'eau possible, a été traité par le chlore sec : quoiqu'il ne contînt que fort peu d'eau, il s'est liquéfié très-promptement, et a donné une dissolution d'un rouge foncé qui décolorait l'indigo. Soumise à l'ébullition, le chlore se dégage, et tout l'oxide de fer se dépose.

Action du Chlore sur les autres oxides.

Les oxides d'aluminium, de bismuth, d'antimoine, d'étain, de tellure, n'ont pas été dissous par le chlore : le protoxide de plomb a été converti en peroxide, en donnant lieu à un hydro-chlorate soluble. Le peroxide de barium est décomposé sur-le-champ par la dissolution de chlore : moitié de son oxigène se dégage, et l'on obtient du chlorure de baryte. Les protoxides de nickel, de cobalt et de manganèse, sont, comme on sait, suroxidés par le chlore, qui n'attaque pas les nouveaux oxides formés.

Nous étudierons à part l'action du chlore sur le deutoxide de mercure : elle n'appartient pas à l'histoire des chlorures d'oxide.

On voit donc que le chlore est susceptible de se combiner avec les oxides de la plupart des métaux qui ne sont pas réductibles par la chaleur ; parmi les oxides auxquels il ne se combine pas, les uns n'agissent nullement sur lui (excepté à une température très-élevée), les autres se sur-oxident, et perdent par là leur tendance à se combiner au chlore, comme ils perdent en partie

leur affinité pour les acides. Ce serait peut-être une des causes pour lesquelles le chlorure d'oxide rouge de fer est bien plus facilement décomposé par la chaleur que le chlorure d'oxide de cuivre. La dessiccation convertit les chlorures d'oxide en oxides, ou en chlorures métalliques et chlorates. Tous, le sous-chlorure de chaux excepté, ont une composition analogue à celle des chlorures métalliques, dans lesquels ils peuvent se transformer en perdant l'oxigène de leur oxide.

Oxido-chlorure de mercure.

Lorsque l'on traite à froid, mais beaucoup mieux au moyen de l'ébullition, l'oxide rouge de mercure, par la dissolution de chlore, on obtient promptement une matière noire, cristalline, qui, en renouvelant le chlore, diminue de quantité, mais ne change pas de nature. Cette matière est une combinaison d'oxide rouge et de deuto-chlorure de mercure : la liqueur retient en dissolution du chlorure et du chlorate, comme l'a prouvé M. Thenard.

Pour indiquer cette combinaison, je crois devoir préférer le nom d'*oxido-chlorure* à celui d'*oxi-chlorure* ; ce dernier désignant plutôt une combinaison de chlorure, d'oxigène et de mercure, sans spécifier dans quel ordre ils sont unis, que l'union du chlorure et de l'oxide de mercure.

L'oxido-chlorure de mercure donne, quand on le chauffe dans un tube de verre, du proto-chlorure, mêlé d'un peu de deuto-chlorure. A quel état se trouve le chlore, dans la combinaison ? Si c'est à l'état de deuto-chlorure, il doit

y avoir dégagement d'oxigène au moment où il devient proto-chlorure, par la réduction d'une partie de l'oxide avec lequel il était uni; et en effet, l'oxido-chlorure, chauffé dans le vide barométrique, trop peu pour être décomposé complètement (afin d'être certain qu'aucune trace de métal n'était revivifiée), a fait baisser le mercure d'une quantité assez considérable. De plus, on peut obtenir immédiatement l'oxido-chlorure en traitant l'oxide rouge de mercure par la dissolution bouillante de deuto-chlorure.

C'est le même composé que l'on produit en précipitant le deuto-chlorure, surtout à chaud, par la potasse caustique non en excès (1).

Avec quelques précautions on peut précipiter tout l'oxide à l'état d'oxido-chlorure.

$3^g,256$ de deuto-chlorure de mercure, précipités par la potasse, ont donné $2^g,633$ d'oxido-chlorure; la liqueur, contenant le chlorure de potassium, a laissé par l'évaporation un peu d'oxide de mercure, qu'il n'a pas été possible de recueillir, et $1^g,495$ de chlorure de potassium $= 0^g,709$ de chlore. Les $2^g,633$ d'oxido-chlorure contiennent, comme je le prouverai tout-à-l'heure, $0^g,136$ de chlore et $2^g,342$ de mercure métallique.

Il est donc évident que tout le mercure est précipité à l'état d'oxido-chlorure; ce qui confirme encore la vérité du mode de combinaison que je viens d'annoncer. Car nous obtenons :

---

(1) M. Gay-Lussac l'a déjà indiqué dans son Mémoire sur l'acide prussique, comme devant être formé de chlore et d'oxide, ou de chlorure et d'oxide de mercure.

Chlore du chlorure de potassium.	0g,709	0g,845.
Chlore de l'oxido-chlorure.....	0,136	
Mercure.....................		2,342.
		3g,187.

On a employé 3g,265 de chlorure, qui contiennent 0g,85 de chlore. On voit donc que la perte tient à une petite quantité de mercure restée dans la liqueur.

Pour analyser ce composé, on l'a chauffé avec précaution dans un tube de verre fermé à l'une de ses extrémités, et pesé d'avance : on a ainsi sublimé complètement et séparé le proto-chlorure. On parvient bientôt à ne réduire aucune partie de l'oxide, et à en séparer tout le chlorure. Voici le détail de deux expériences faites ; la première, avec l'oxido-chlorure obtenu en traitant l'oxide rouge par le chlore ; la seconde, sur celui que l'on prépare en précipitant le deuto-chlorure par la potasse :

	1re.	2me.
Oxido-chlorure employé..........	3,304	0,395.
L'appareil perd dans la calcination.	0,048	0,002.
Oxide rouge obtenu.............	2,121	0,255.
Proto-chlorure de mercure......	1,135	0,138.

La perte est l'oxigène dégagé dans le passage d'une partie de l'oxide, à l'état de proto-chlorure. On voit, d'après ces analyses, qui ont été répétées un grand nombre de fois avec les mêmes résultats, que l'oxido-chlorure de mercure donne, par sa décomposition :

4 atomes d'oxide de mercure ;
2 atomes de proto-chlorure ;
2 atomes d'oxigène.

Si l'on fait repasser les deux atomes de proto-chlorure à l'état de deuto-chlorure, en leur enlevant un atome de mercure qui s'ajoute aux quatre d'oxide, on aura, pour la composition de l'oxido-chlorure de mercure :

5 atomes de deutoxide,	13658	79,942 ;
1 atome de deuto-chlorure,	3416,9	20,058.
	17074,9	100.

D'après ces bases, les deux analyses citées auraient dû donner :

	La 1re.	La 2me.
Oxido-chlorure employé,	3,304	0,395
Oxigène dégagé,	0,038	0,0046
Oxide rouge de mercure,	2,115	0,253
Proto-chlorure,	1,151	0,138.

La seconde expérience est plus exacte que la première, parce que l'oxido-chlorure précipité du chlorure a moins de cohésion et de densité, et qu'en conséquence il est plus facile à décomposer sans réduire l'oxide, et passe plus complètement à l'état de proto-chlorure. On trouve cependant encore une trace de deuto-chlorure dans le sublimé.

Ce composé tendrait à faire croire, il me semble, que les chlorures se dissolvent dans l'eau sans se changer en hydro-chlorates ; car autrement il faudrait admettre des décompositions et recompositions d'eau opérées ici en vertu de causes bien faibles, telles que l'affinité du chlorure de mercure pour l'oxide de mercure ou la cohésion de l'oxido-chlorure.

Oxido-chlorure d'antimoine.

Le sous-chlorure d'antimoine que l'on obtient en traitant le chlorure neutre par l'eau est un oxido-chlorure. Soumis à l'action de la chaleur, il fond sans se décomposer; ce qui n'arriverait pas si c'était un chlorure d'oxide. Calciné avec de l'hydro-chlorate d'ammoniaque sec, il dégage de l'ammoniaque et donne naissance à de l'eau et à du chlorure volatil : mêlé à du soufre, puis chauffé dans un tube de verre où l'on avait fait passer un courant d'acide carbonique, il a opéré un très-grand dégagement d'acide sulfureux : expériences qui y démontrent la présence de l'oxigène. Toutes ces propriétés annoncent donc l'existence d'un oxido-chlorure d'antimoine. On l'a analysé en le traitant par la potasse bouillante, saturant l'alcali par l'acide nitrique, et précipitant le chlore par le nitrate d'argent. Le résultat s'accordait assez bien avec les nombres donnés par 7 atomes d'oxide et 1 de chlorure. On a fait un mélange intime de soufre et d'oxido-chlorure; on l'a chauffé presque au rouge dans un tube de verre pour le convertir en sulfure d'antimoine. $0^g,276$ d'oxido-chlorure ont donné $0^g,305$ de sulfure d'antimoine, retenant une trace de soufre visible à l'œil nu. D'après le résultat ci-dessus, on aurait dû obtenir $0^g,2997$.

La composition est donc :

Protoxide d'antimoine, 7 atomes,	13390,3	82,01;
Chlorure d'antimoine, 1 atome,	2940,85	17,99.
	16331,15	100.

Le sous-chlorure de bismuth est également un oxido-chlorure. Il a les mêmes propriétés que celui d'antimoine. Les mêmes procédés analytiques ont indiqué, pour sa composition, 1 atom. de chlorure de bismuth et 4 d'oxide de bismuth.

Ammonio-chlorures.

De même que les chlorures sont susceptibles de se combiner avec les oxides métalliques en vertu de leur tendance à jouer le rôle d'acides, ils peuvent aussi se combiner avec le gaz ammoniac sec. On sait déjà que le chlorure d'étain est susceptible de l'absorber, et de donner naissance à un composé très-singulier en ceci; qu'étant formé de corps très-volatils, il est fixe et indécomposable par lui-même. On sait que le chlorure de phosphore et le chlorure de calcium ont la même propriété. Il paraît qu'elle est beaucoup plus générale qu'on ne l'avait cru jusqu'ici, puisque le chlorure de zinc, celui d'antimoine et le deuto-chlorure de mercure me l'ont aussi montrée. Je ne m'arrêterai un instant que sur les ammoniaco-chlorures de phosphore, d'étain et de mercure.

On a saturé de gaz ammoniac sec le chlorure de phosphore, au *maximum*, en le pulvérisant plusieurs fois: le composé ne donne aucune vapeur quand il est en contact avec l'air: il paraît indécomposable par le feu, tant qu'il ne trouve pas d'eau à absorber. La potasse liquide en chasse l'ammoniaque, et le convertit en phosphate et en hydro-chlorate. Traité par l'eau distillée, il n'est attaqué qu'avec beaucoup de difficulté, et ne se dissout qu'en très-petite quantité. La dissolution contient

du phosphate et de l'hydro-chlorate neutre d'ammoniaque. Ce résultat suffit pour donner la composition de l'ammonio-chlorure de phosphore.

Le chlorure de phosphore est composé de 1 atome de phosphore = 400,6, en rectifiant, d'après les expériences de M. Dulong, le nombre donné par M. Berzelius, et de 5 atom. de chlore. Traité par l'eau, il donne 1 atome d'acide phosphorique qui en exige deux d'ammoniaque pour se saturer, et 5 d'acide hydro-chlorique, qui prennent 5 atom. d'ammoniaque; en tout 7.

L'ammonio-chlorure de phosphore est donc formé de :

Chlorure de phosphore, 1 at.	2613,31	63,502;
Ammoniaque, 7 at.	1501,99	36,498.
	4115,30	100.

Il est assez extraordinaire qu'un composé qui agit sur l'eau avec tant d'énergie perde totalement cette action, en se combinant avec un alcali, dont l'affinité pour les acides qu'il forme en décomposant l'eau devrait l'augmenter au contraire, comme on le voit dans un si grand nombre de phénomènes. Pour expliquer cette anomalie apparente, on peut à la rigueur concevoir que l'énergie de combinaison du chlorure de phosphore est assez saturée par l'ammoniaque, pour qu'il ne soit plus capable d'agir sur l'eau que très-lentement.

Le chlorure de soufre est décomposé sur-le-champ par le gaz ammoniac sec, qui en précipite le soufre, et convertit le chlore en hydro-chlorate d'ammoniaque. Il y a par conséquent de l'azote mis en liberté. La dé-

composition a lieu avec un très-grand dégagement de chaleur, sans lequel il se formerait peut-être du chlorure d'azote. L'ammonio-chlorure d'étain se dissout assez facilement dans l'eau tiède. Cette dissolution est très-acide, quoique le chlorure fût parfaitement saturé d'ammoniaque. Si l'on y ajoute une quantité d'ammoniaque susceptible de précipiter une partie seulement de l'oxide d'étain, elle reste encore acide, et cela tant que l'étain n'est pas totalement séparé. Ce phénomène d'acidité, même après la précipitation d'une partie de la base, est général pour tous les sels, qui, à l'état neutre, conservent la propriété de rougir le papier de tournesol, et il est une conséquence nécessaire de cette propriété, puisque le sel neutre est acide au papier de tournesol; tant qu'il en reste de non décomposé dans la liqueur, elle doit aussi le rougir. Le nitrate de plomb, malgré la puissance saturante de sa base, a la même propriété; mais l'acétate de plomb ne la possède plus: ce qui montre que des bases qui ne sont pas capables de détruire entièrement la réaction des acides forts, sont toutefois susceptibles de saturer totalement les acides faibles.

Pour en revenir à l'ammonio-chlorure d'étain, la dissolution évaporée à siccité laisse, après le dégagement d'une trace d'ammoniaque, un composé d'apparence saline, soluble dans l'eau. 0g,803 de ce résidu, très-sec, chauffés au rouge, dans un tube de verre, ont donné, après un grand dégagement d'ammoniaque, 0g,044 d'oxide d'étain, et une matière volatile, pesant 0g,744. Il y avait eu, pendant sa calcination, perte de 0g,015 en ammoniaque. La matière volatile se dissout

dans l'eau, mais une douce chaleur en précipite une grande quantité d'oxide d'étain en gelée. Cet oxide, recueilli et calciné, pesait $0^g,268$. L'hydro-chlorate d'ammoniaque, évaporé à siccité, a laissé dégager une assez grande quantité d'acide hydro-chlorique libre ; il est ensuite resté neutre, et ne retenait plus d'oxide.

L'hydro-chlorate d'ammoniaque avec l'acide libre était donc de $0^g,744 - 0^g,268 = 0^g,476$, qui, avec les $0^g,015$ d'ammoniaque dégagés, donnent :

Hydro-chlorate d'ammoniaque,	$0^g,491$;
Oxide d'étain,	0,312.
	0,803.

D'où l'on voit que le chlorure d'étain absorbe exactement la quantité d'ammoniaque nécessaire pour le convertir, à l'aide de l'eau, en oxide d'étain, et en hydro-chlorate d'ammoniaque.

Sa composition est donc :

Chlorure d'étain, 1 atome,	3241,18	79,06 ;
Ammoniaque, 4 atomes,	858,28	20,94.
	4099,46	100.

Ce qui donne pour la quantité d'hydro-chlorate d'ammoniaque et d'oxide d'étain que devaient contenir les $0^g,803$ du résidu salin :

Hydro-chlorate d'ammoniaque, 4 at.	2681	0,473 ;
Oxide d'étain, 1 at.	1870	0,330.
		0,803.

Résultats de l'expérience :

Sel ammoniac,	0,491 ;
Oxide d'étain,	0,312.

Je suis porté à penser que l'eau a converti l'ammonio-chlorure d'étain en hydro-chlorate d'ammoniaque et en oxide d'étain, qui sont restés unis; que, dans la calcination, l'oxide d'étain a réagi sur l'hydro-chlorate pour former de l'hydro-chlorate d'étain sec, qui s'est volatilisé avec l'hydro-chlorate d'ammoniaque non décomposé; que cette combinaison d'acide hydro-chlorique et d'oxide d'étain, étant probablement dans un état d'union imparfaite, sans doute même combinée à l'hydro-chlorate alcalin, a été détruite par la chaleur, qui a augmenté la cohésion de l'oxide; et qu'alors l'acide est resté libre dans la liqueur. Ce qui semblerait appuyer cette opinion, c'est qu'en chauffant un mélange même grossier d'oxide d'étain calciné et de sel ammoniac, on obtient absolument les mêmes phénomènes. Ce moyen est même excellent pour se procurer de l'oxide d'étain très-pur et en gelée.

Le deuto-chlorure de mercure, traité par le gaz ammoniac, en a absorbé, à peu de chose près, un atome. Dissous dans l'eau, il laisse déposer une partie de l'oxide de mercure à l'état d'ammoniure blanc d'oxide de mercure. La potasse caustique, versée dans la liqueur, en précipite tout le reste du métal, dans le même état de combinaison. Le chlorure absorbe donc la quantité d'ammoniaque nécessaire pour convertir son oxide en ammoniure d'oxide, et cet ammoniure est formé de 1 atome d'oxide et 1 atome d'ammoniaque.

De là on déduit :

Ammonio-chlorure de mercure.

1 atome de deuto-chlorure,	3416,9	94,09;
1 atome d'ammoniaque,	214,57	5,91.
	3631,47	100.

Ammoniure de deutoxide de mercure.

Oxide de mercure, 1 at.	2731,60	92,72;
Ammoniaque, 1 at.	214,57	7,28.

Résultat peu différent de celui que l'expérience a donné à M. Guibourt (*Ann. de Chim. et de Phys.*, t. 1).

Ammonio-Azoture.

L'azoture ammoniacal de potassium, dont MM. Thenard et Gay-Lussac ont donné l'analyse, est sans doute une combinaison analogue aux ammonio-chlorures. D'après leurs expériences, sa composition paraît être :

Potassium, 3 at. }	azoture de potassium,	1 at.
Azote, 2 at. }		
Ammoniaque	....	3 at.

Des Iodures d'oxide.

M. Gay-Lussac a étudié la réaction de l'iode sur les oxides métalliques. Il a vu qu'il était susceptible de chasser, à la température rouge, l'oxigène de la potasse, mais qu'il se combinait seulement à la baryte, la strontiane et la chaux. Je me suis assuré que l'iode, à environ 200° et au-dessous, s'unit à tous les oxides alcalins, hydratés ou anhydres, et donne des composés qu'il est très-diffi-

cile de saturer d'iode. La composition des iodures de chaux et de strontiane m'a paru être, d'après plusieurs analyses, 1 atome d'oxide et 1 atome d'iode.

Je crois que l'oxide de zinc se combine aussi avec l'iode; du moins, chauffé avec ce corps à 200° environ, il conserve la propriété de donner beaucoup d'iode par les acides. L'iode s'unit très-bien à la potasse pure et sèche. L'iodure est alors susceptible de se dissoudre dans l'eau, et d'être évaporé à siccité sans se décomposer. Chauffé au rouge, il donnerait certainement un iodure métallique.

J'ai trouvé que les iodures de strontiane et d'hydrate de strontiane, comme ceux de chaux, sont décomposés par une chaleur rouge intense, et que l'on obtient des alcalis caustiques.

L'action que l'iode exerce sur l'oxide rouge de mercure n'a pas d'analogie avec celle du chlore, peut-être à cause de l'insolubilité de l'iodure de mercure, qui ne peut pas se combiner avec l'oxide. Si l'on a soin de traiter l'oxide un assez grand nombre de fois par l'iode, on n'obtient, en le chauffant dans un tube, qu'une trace d'oxide rouge pour résidu. (Voy. *Ann. de Chimie*, t. XCI, p. 252. (COLIN.)

Des Cyanures d'oxide.

M. Gay-Lussac, en étudiant les cyanures d'oxide, a trouvé que les alcalis absorbaient le cyanogène, même à une chaleur rouge, et que leurs carbonates étaient décomposés par ce gaz. Il a manifesté le doute que la faible absorption de cyanogène opérée par l'oxide de fer fût

véritablement due à l'oxide : enfin il a étudié à fond la décomposition des cyanures d'oxide par les acides. Je n'ajouterai que peu de chose à ces connaissances fondamentales. La strontiane anhydre, mise en contact avec du cyanogène, ne l'a pas sensiblement absorbée : à l'état d'hydrate, l'action est instantanée, et elle en prend une quantité considérable. Avec la chaux, mêmes phénomènes. Elles noircissent sur-le-champ. L'hydrate de magnésie, desséché à l'air pendant trois jours, absorbe beaucoup de cyanogène. Le cyanure se dissout dans l'eau, qui se trouve très-colorée. Traité par un acide, il ne donne cependant pas de bleu de Prusse avec les dissolutions de fer.

J'ai analysé les cyanures de chaux et de strontiane en faisant absorber aux hydrates du gaz mesuré, et convertissant le cyanure en sulfate. J'ai trouvé, pour leur composition, 1 atome d'oxide, et 2 atomes de cyanogène ; résultats conformes à ceux que donne M. Berzelius pour les cyanures d'oxide secs et les cyanures métalliques.

L'hydrate de cobalt forme aussi un cyanure ; mais les hydrates d'oxide de zinc et de fer desséchés sur du papier n'ont pas sensiblement absorbé de gaz. Ils ne forment pas de cyanures d'oxide.

Oxido-cyanure de mercure.

J'ai fait bouillir $1^{g},714$ de cyanure de mercure avec un excès d'oxide rouge de mercure pesé d'avance ; il en a été dissous $0^{g},992$. En admettant, comme il est probable, mais non encore prouvé, que le cyanure de

mercure est formé comme les autres cyanures, de 1 atome de métal et de 2 atom. de cyanogène, ce résulat s'accorde bien avec ceux que donnent :

3 atomes de cyanure de mercure,	1,737 ;
2 atomes d'oxide,	0,992.

J'ai tenté l'analyse du cyanure de mercure en le traitant par l'oxide de cuivre. L'oxide étant rouge, dès que l'on a chauffé la partie du tube qui contenait le cyanure, il s'est manifesté une vive incandescence, et le tube a été brisé par une détonnation assez forte, produite par l'expansion des gaz et de la vapeur de mercure.

On a chauffé jusqu'au rouge un mélange de cyanure de mercure et d'oxide de cuivre : le cyanure s'est décomposé sans réduire sensiblement de cuivre. La chaleur qui suffit pour décomposer le cyanure de mercure est trop faible pour que le cyanogène puisse réduire l'oxide de cuivre.

SUR *les Alliages du chrôme avec le fer et avec l'acier.*

Par Mr P. BERTHIER, Ingénieur des Mines.

ON sait que le chrôme fait plus souvent fonction de corps électro-négatif que de corps électro-positif. Il a une très-grande affinité pour le fer ; aussi la présence de ce dernier métal facilite-t-elle beaucoup la réduction de l'oxide de chrôme, et les combinaisons que ces

métaux forment entre eux ont-elles plus d'analogie avec les sulfures, les phosphures, etc. qu'avec les alliages. L'oxide de chrôme, qui se combine avec tous les acides, peut se combiner aussi avec plusieurs bases et produire de véritables chromites. Au nombre des bases qui ont une très-grande affinité pour l'oxide de chrôme, sont le protoxide et le peroxide de fer : cette affinité est telle que, dans plusieurs circonstances, la présence de l'oxide de chrôme empêche la réduction des oxides de fer, effet qu'aucune autre substance ne paraît pouvoir produire. Ces assertions trouvent leur preuve dans les expériences que je vais rapporter.

L'oxide de chrôme est assez difficile à réduire; cependant, en le chauffant pendant trois heures, dans un creuset brasqué, au feu d'un bon fourneau à vent, alimenté par du coak, je l'ai réduit complètement; j'ai obtenu un culot qui paraissait avoir éprouvé une fusion pâteuse : il était cassant, très-dur, d'un gris de fer dans quelques parties, et d'un gris noir dans d'autres : peut-être contenait-il du carbone en combinaison.

En chauffant très-fortement, dans un creuset brasqué, un mélange, en proportions quelconques, d'oxide de chrôme et d'oxide de fer, ces oxides sont complètement réduits, et on obtient des combinaisons parfaitement homogènes des deux métaux. Ces combinaisons, ou ces alliages, sont en général dures, cassantes, cristallines, d'un gris plus blanc que le fer et très-éclatantes; moins fusibles, beaucoup moins magnétiques et beaucoup moins attaquables par les acides que ce métal : ces propriétés sont d'autant plus prononcées que l'alliage renferme plus de chrôme. Un alliage résultant de la réduction de

5g de tritoxide de fer et de 5g d'oxide de chrôme a fourni un culot bien arrondi, rempli de grosses bulles tapissées de cristaux prismatiques allongés et entre-croisés. Sa cassure présentait une texture cristalline semblable. Sa couleur était plus blanche que celle du platine, et sa dureté était telle qu'il rayait aussi profondément le verre qu'aurait pu le faire un diamant. Il s'est trouvé si fragile, qu'on a pu le réduire en poudre très-fine dans un mortier d'agate : sa poussière a conservé de l'éclat métallique. Les acides très-forts, et même l'eau régale bouillante, ne l'ont attaqué que très-peu : il a fallu, pour l'analyser, le chauffer au creuset d'argent avec du nitre.

Quoique l'on connaisse maintenant plusieurs moyens très-simples pour préparer l'oxide de chrôme (1), cet

---

(1) On prépare l'oxide de chrôme, 1°. en décomposant le chromate de mercure par le feu; 2°. en faisant bouillir le chromate de potasse avec de l'acide muriatique concentré, et précipitant ensuite par l'ammoniaque l'oxide de chrôme que contient la dissolution; 3°. en versant dans une dissolution de chromate de potasse un mélange d'acide muriatique et d'un hydro-sulfate alcalin, faisant bouillir et précipitant ensuite l'oxide de chrôme.

4°. M. Lassaigne a fait connaître dernièrement un nouveau moyen que j'ai essayé, et qui donne de l'oxide très-beau. Il consiste à chauffer, jusqu'à fusion, le chromate de potasse avec de la fleur de soufre, et à lessiver la matière.

5°. On peut chauffer, dans un creuset brasqué de charbon, du chromate de plomb sans aucun mélange : l'oxide de plomb se réduit totalement, et le plomb reste mélangé en grosses

oxide a pourtant encore une assez grande valeur. Si l'alliage de fer et de chrôme peut être de quelque utilité dans les arts, on l'obtiendra avec beaucoup plus d'éco-

---

grenailles avec l'oxide de chrôme. On en sépare la plus grande partie en pilant et en tamisant, et on enlève les petits grains qui passent à travers le tamis, en traitant la poussière par l'acide nitrique. Il reste de l'oxide de chrôme très-pur.

6°. Enfin, j'ai encore trouvé le moyen suivant, qui est le plus économique de tous. Si l'on opère sur de petites masses, on chauffe à la chaleur blanche, pendant une demi-heure environ, le chromate de potasse dans un creuset brasqué de charbon; on triture la masse fondue, on la fait digérer dans l'eau, et l'on met la liqueur en ébullition pendant quelques instans : le dépôt, bien lavé et calciné, est de l'oxide de chrôme très-pur. Si l'on opérait sur de grandes quantités à la fois, il faudrait ajouter au chromate de potasse une matière réductive, comme de la sciure de bois, du noir de fumée ou de la poussière de charbon, parce que la réduction par cémentation exigerait trop de temps. L'oxide de chrôme se trouverait à la vérité mélangé avec l'excès du réductif, mais un léger grillage brûlerait promptement celui-ci : il ne pourrait y rester ensuite qu'un peu de cendre; mais la quantité en serait fort petite, et il serait d'ailleurs facile de l'enlever au moyen d'un acide. La liqueur alcaline retient quelquefois un peu d'acide chromique; elle est alors colorée en jaune : cela aurait peu d'inconvénient dans une manufacture, parce qu'en évaporant cette liqueur à siccité, on se servirait du résidu de carbonate de potasse pour traiter le minerai de chrôme. L'emploi de ce résidu serait un des principaux avantages du procédé que je propose.

nomie en substituant le minerai de chrôme (fer chrômé) à l'oxide de chrôme pur.

Le fer chrômé n'est pas un minerai très-rare ; on en trouve dans beaucoup de lieux. Nous en avons une mine abondante dans le département du Var : il y en a plusieurs variétés. Celui dont je me suis servi pour mes expériences vient d'une petite île nommée *île à Vaches*, qui se trouve à peu de distance au sud de Saint-Domingue. C'est un sable formé de très-petits grains octaédriques d'un noir de jayet très-brillant, et que j'ai trouvé composé de :

Oxide de chrôme,	0,360 ;
Peroxide de fer,	0,372 ;
Alumine,	0,218 ;
Silice,	0,050.
	1,000.

Il est à-peu-près de même nature que le minerai de France, et c'est un des plus pauvres en oxide de chrôme.

Le fer chrômé de l'île à Vaches, chauffé dans un creuset brasqué, s'agglomère, devient d'un gris foncé et acquiert la propriété de faire mouvoir l'aiguille aimantée ; mais il ne perd que 0,05 à 0,06 de son poids, et il ne produit que quelques particules métalliques : la perte de poids est due à l'oxigène du peroxide de fer, qui est ramené à l'état de protoxide. Sans la présence de l'oxide de chrôme, l'oxide de fer se serait complètement réduit et le fer métallique aurait pu être séparé, au moyen d'un acide, de l'alumine dans laquelle il aurait été disséminé.

Avec son poids d'un verre terreux (silice, alumine et chaux), ce même minerai a produit, dans un creuset brasqué, une scorie demi-vitreuse, opaque, d'un gris foncé, bulleuse et enveloppée d'une légère pellicule métallique, cristalline, d'un gris blanc.

Avec 0,30 de chaux, et 0,70 de silice, il a donné une scorie semblable à la précédente, et 0,17 d'alliage de fer et de chrôme en grenaille.

Avec un poids égal au sien de verre à vître, contenant 0,16 de soude, il a perdu 0,19 de son poids, et il a produit une scorie à-peu-près semblable aux précédentes, et 0,16 d'alliage en grenaille. Il est aisé de voir que, dans cette expérience, les scories ont dû retenir environ les 0,35 du minerai d'oxide de fer et de chrôme, et qu'outre l'oxigène, il a dû se volatiliser environ 0,10 d'autres substances. Il paraît que ces substances sont du chrôme et du fer combinés ensemble; car le dessous du couvercle du creuset s'est trouvé tapissé d'une scorie métallique tout-à-fait semblable à cet alliage.

En traitant le même minerai au creuset brasqué avec un mélange de borax, j'ai obtenu 0,31 à 0,32 d'alliage, et une scorie grise, compacte, opaque, soluble dans les acides forts, et dans laquelle je n'ai pas trouvé la moindre trace d'oxide de fer, ni d'oxide de chrôme. La perte de poids a été extrêmement considérable. Cette perte vient, pour la plus grande partie, de la volatilisation du borax; mais on voit, par le poids de l'alliage obtenu, qu'elle comprend aussi plus de 0,20 de chrôme et de fer. Le couvercle était tapissé de grenailles.

J'ai essayé si je ne pourrais pas diminuer la volatilisation, et augmenter la proportion d'alliage produite,

en mélangeant au minerai une certaine quantité d'oxide de fer pur. Cette addition a eu, jusqu'à un certain point, le résultat que j'en espérais.

J'ai fondu au creuset brasqué 10g de minerai, 6g de battitures de fer contenant 0,79 de métal, et 10g de verre à vître. J'ai eu 7g d'alliage, et la perte a été de 3g : il suit de ces données que le minerai a produit 0,22 d'alliage; qu'il s'est volatilisé environ 0,05 de fer et de chrôme, et que la scorie a retenu 0,34 d'oxides de ces métaux.

Enfin, j'ai traité au creuset brasqué 10g de minerai, 6g de battitures de fer et du borax vitrifié. J'ai obtenu un culot métallique variant de 8g,3 à 8,8, dans les diverses expériences; d'où il résulte que le mélange a produit 0,36 à 0,40 d'alliage, et qu'il s'en est volatilisé 0,15 à 0,10 de chrôme et de fer.

J'ai remarqué que la volatilisation était d'autant plus grande qu'on employait plus de borax, et j'ai trouvé que la proportion strictement nécessaire de ce fondant était de 40 pour 100 de minerai.

On doit conclure de ce qui précède que, pour préparer avec un minerai de la nature de celui de l'île à Vaches, un alliage très-riche en chrôme, il faut fondre ce minerai au creuset brasqué avec 0,30 de chaux et 0,70 de silice, ou avec 1,00 de verre alcalin, ou mieux avec 0,40 de borax vitrifié; et que, pour extraire le plus de chrôme possible de ce minerai, il faut ajouter aux fondans une certaine quantité d'oxide de fer.

Il est évident que la proportion des fondans à employer doit varier avec la quantité d'alumine que contient le minerai, et qu'il faut toujours en employer le moins possible, savoir, le borax par économie, et pour dimi-

nuer la volatilisation, et le verre ou les fondans siliceux, parce qu'ils s'opposent à la réduction des oxides qu'ils retiennent en combinaison. Si donc il existait un minerai qui ne contînt que 0,10 d'alumine, ce minerai serait infiniment préférable à ceux qui, comme le minerai de l'île à Vaches et le minerai du Var, en renferment 0,22. On trouve de semblables minérais aux environs de Philadelphie et en d'autres lieux des Etats-Unis d'Amérique, d'où on en expédie en France, à un prix très-modéré. J'ai trouvé dans le minerai de Philadelphie :

Oxide de chrôme,	0,516;
Peroxide de fer,	0,372;
Alumine,	0,097;
Silice,	0,029.
	0,990.

Ce minerai fondrait très-bien avec 0,14 de chaux, et 0,32 de silice, ou avec 0,50 de verre alcalin, ou enfin avec 0,16 à 0,20 de borax vitreux. Il donnerait une beaucoup plus grande proportion d'alliage que le minerai de l'île à Vaches, et cet alliage contiendrait beaucoup plus de chrôme.

Si je me suis beaucoup étendu sur la manière de préparer avec économie les alliages de fer et de chrôme, ce n'est pas que je croie que ces alliages puissent être par eux-mêmes d'une grande utilité ; mais c'est parce qu'il est probable qu'on s'en servira pour introduire du chrôme dans l'acier fondu.

L'idée d'introduire du chrôme dans l'acier fondu m'a été suggérée par l'intéressant travail de M. Faraday sur

les alliages de divers métaux avec l'acier. J'ai trouvé que l'acier allié de chrôme a des propriétés qui pourront le rendre précieux pour plusieurs usages.

J'ai fait deux alliages d'acier fondu et de chrôme, l'un contenant 0,010 de chrôme, et l'autre 0,015. M. Mérimée a eu la complaisance de les faire essayer sous ses yeux par un coutelier très-intelligent. Ils se sont bien forgés tous les deux; le premier a paru même plus facile à travailler que l'acier fondu pur. On en a fait un couteau et un rasoir; les deux lames se sont trouvées très-bonnes; leur tranchant a paru dur et solide; mais ce qu'elles ont surtout présenté de remarquable, c'est le beau damassé qu'elles ont pris lorsqu'on les a frottées avec de l'acide sulfurique. Ce damassé offre des veines agréablement variées et d'un blanc d'argent très-brillant : il ressemble beaucoup à celui qu'on obtient en alliant l'argent à l'acier : les parties blanches sont probablement du chrôme pur, sur lequel on sait que les acides n'ont pas d'action. Il y a lieu de croire que l'*acier chrômé* sera propre à faire des lames de sabre damassées, solides, dures et d'un bel effet, et beaucoup d'instrumens de coutellerie fine.

Je l'ai préparé en fondant de l'acier fondu de première qualité, cassé en très-petits morceaux, avec un alliage de fer et de chrôme. C'est aussi, je crois, ce qu'il faudra faire en grand, en substituant l'acier cémenté à l'acier fondu. Je ne pense pas qu'il soit possible de remplacer avec avantage l'alliage de fer et de chrôme par du minerai de fer chrômé mêlé de poussière de charbon, parce qu'il arriverait probablement que le verre terreux que l'on met dans les creusets pour décaper les morceaux d'acier, et

pour les préserver du contact de l'air, dissoudrait la plus grande partie du minerai, et empêcherait sa réduction. Cependant il sera bon d'en faire l'essai.

Sur *la Respiration des Plantes.*

Par Mr W. H. Gilby.

.... Divers auteurs, et en particulier Sennebier, Ingenhousz et Saussure, ont montré que les changemens chimiques produits dans l'air par les plantes sont totalement différens, suivant que ces plantes sont dans l'ombre ou exposées à la lumière solaire. A l'ombre, l'air est vicié par la disparition de l'oxigène et la formation d'acide carbonique; au soleil, au contraire, l'acide carbonique contenu dans l'air est rapidement décomposé, et ce fluide se trouve épuré par la restitution d'une certaine proportion d'oxigène.

La rapidité avec laquelle ces changemens s'opèrent est vraiment étonnante, comme l'expérience suivante, que j'ai choise entre un grand nombre d'autres, va le montrer.

J'avais rempli une cloche de verre contenant 21 pouces cubes, avec un mélange de 70 parties d'air commun et 30 d'acide carbonique; j'introduisis ensuite dans la cloche un paquet d'herbe fraîche qui déplaçait, comme je m'en étais assuré par des mesures antérieures, 2 pouc. cubes d'air; le tout fut exposé à la lumière solaire pendant quatre heures; la cloche, renversée, reposait sur une

soucoupe et était entourée de mercure jusqu'à une certaine hauteur. Au bout de ce temps, je remarquai que l'eau de chaux ne produisait qu'une diminution de 2 pour cent dans l'air que la cloche contenait, tandis que 41 parties sur 100 étaient entièrement consumées par le phosphore. En évaluant les proportions d'oxigène et d'acide carbonique, on trouvera que, dans ce court espace de temps, 26,3 d'oxigène furent ajoutés au 14,7 qui existaient originairement. Voici, au reste, l'état de l'air renfermé dans la cloche avant et après l'expérience :

Avant l'expérience.	Pouces cubes.	Après l'expérience.	Pouces cubes.
Gaz azote,	10,507	Azote ;	10,507 ;
Acide carbon.,	5,700	Acide carbon.,	0,370 ;
Oxigène,	2,793	Oxigène,	7,790.
	19,000		18,667.

Peu de personnes douteront, j'imagine, que cette transformation de l'acide carbonique en oxigène ne soit le résultat de l'action chimique des rayons solaires : je pensai cependant qu'il serait intéressant d'établir ce fait par l'expérience.

M. Ellis m'ayant suggéré l'idée de renfermer des plantes dans des atmosphères artificielles d'acide carbonique et d'air commun, sous des cloches de verre coloré, j'adoptai le moyen suivant de faire l'expérience : m'étant procuré trois fioles dont la capacité était exactement de $3\frac{1}{2}$ pouces cubes, j'introduisis dans chacune d'elles un paquet d'herbe équivalent en volume à $\frac{7}{10}$ de

pouce cube. Je les remplis ensuite d'air atmosphérique mêlé à une certaine proportion d'acide carbonique, et après les avoir bien exactement bouchées, j'enfonçai l'une d'elles dans une infusion transparente de *litmus* que contenait une cloche de verre; la seconde fut placée dans une cloche remplie d'une infusion claire de roses; la troisième enfin était dans de l'eau pure : ces cloches ayant été rapidement renversées sur des soucoupes, j'exposai le tout au soleil pendant quatre ou cinq heures : or, il arriva constamment, lorsque l'air renfermé dans les fioles ne contenait pas plus de 20 ou 25 pour cent d'acide carbonique, que le même changement s'opérait dans toutes, la totalité de cet acide, 2 ou 3 parties exceptées, se transformant en oxigène. Quand la proportion d'acide carbonique était plus grande (de 40 ou 50 pour cent, si l'on veut), je trouvais invariablement plus d'oxigène dans les fioles recouvertes d'infusion de litmus ou d'eau pure, que dans celle que la lumière ne pouvait atteindre qu'en traversant l'infusion rouge de roses. Voici, comme exemple, une expérience prise au hasard parmi le grand nombre de celles que j'ai faites pour vérifier ce résultat.

J'exposai, le 5 juillet, à la lumière solaire, les trois cloches avec les trois fioles qu'elles renfermaient : au commencement de l'expérience, il y avait dans chaque fiole 43,00 d'acide carbonique; 11,97 d'oxigène et 45,03 d'azote, formant un total de 100 : après quatre heures d'exposition, l'analyse me donna (1) :

---

(1) En répétant ces expériences avec des feuilles de chou, je trouvai qu'il était arrivé très-peu de changement dans l'air

Fiole dans l'infusion rouge.		Fiole dans l'infus. violette.		Fiole dans l'eau claire.	
Acide carb.	19,5	Acide carb.	12,5	Acide carb.	12,0 ;
Oxigène...	29,5	Oxigène...	36,5	Oxigène. .	37,0 ;
Azote.....	51,0	Azote.....	51,0	Azote....	51,0.
	100,0		100,0		100,0.

Il paraît donc que le rayon rouge est assez puissant pour décomposer l'acide carbonique si sa proportion dans le mélange est petite ; mais il est évident que le rayon violet, quand l'acide est abondant, élabore plus d'oxigène que les rayons rouges.

Il est convenable que je fasse ici quelques remarques sur une circonstance qui résulte de la seule inspection de la table précédente. On y voit, en effet, que la proportion de l'azote aux autres principes constituans était plus grande à la fin qu'au commencement de l'expérience : ceci cependant est une simple illusion, et en réalité il n'y a aucune augmentation d'azote. Je suis persuadé que cette apparente addition est due à ce que quelques portions d'acide carbonique dont le soleil n'a pas eu le temps d'opérer la décomposition, restent engagées dans les feuilles, et diminuent ainsi la quantité absolue d'air que la fiole renferme : or, il est clair que plus il y aura d'acide carbonique de retenu dans les feuilles, et plus le rapport de l'azote à la totalité de l'air paraîtra grand. Dans l'expérience précédente, par exemple, si tout l'acide carbonique (les 19,5 parties contenues à la fin dans la fiole rouge exceptées) avait été décomposé, nous aurions

---

mélangé ; ce qui paraît prouver que ces feuilles, en raison de la délicatesse de leur épiderme (*coat*), sont beaucoup plus perméables à l'air.

certainement trouvé 35,47 d'oxigène, tandis que l'eudiomètre n'en indiquait que 29,5 : nous ne pouvons pas conséquemment hésiter d'admettre que 6 pour cent de ce gaz étaient retenus dans les feuilles. Si je n'avais fait qu'un ou deux essais de ce genre, je n'énoncerais pas mon opinion avec tant d'assurance; mais ayant invariablement trouvé, dans un grand nombre d'expériences, que la quantité d'oxigène formée ne correspond pas exactement à celle de l'acide carbonique qui disparaît, je pense que la conclusion à laquelle je me suis arrêté est exacte et même inévitable. Cette apparente augmentation d'azote est indiquée par M. de Saussure, dans son admirable ouvrage intitulé *Recherches, etc.*, comme une production réelle de ce gaz; mais je crois mon explication plus naturelle : on voit que si elle est exacte, il faudra en conclure que la décomposition de l'acide se fait dans la substance même de la feuille, et non pas à sa surface, comme M. Ellis le suppose.

Je passerai maintenant au principal objet de cet écrit, qui est d'examiner jusqu'à quel point la respiration des plantes peut contribuer à la purification de l'atmosphère. Si l'on s'en rapporte aux résultats obtenus par les observateurs les plus habiles, les plantes produisent de l'acide carbonique, 1° la nuit; 2° quand elles sont à l'ombre d'un corps, et peut-être même lorsque la clarté ordinaire du jour les atteint : c'est seulement sous l'action immédiate des rayons solaires qu'il se développe une petite quantité d'oxigène. La question à résoudre est donc celle-ci : l'oxigène produit par insolation contrebalance-t-il d'une manière approchée, non-seulement la détérioration de l'atmosphère dépendante de la respiration des animaux,

mais encore l'exhalaison d'acide carbonique qui accompagne la respiration naturelle des végétaux ? La rapidité extraordinaire avec laquelle les plantes décomposent l'acide carbonique quand elles sont exposées aux rayons directs du soleil, ne peut pas, ce me semble, être regardée comme une forte preuve qu'elles améliorent l'atmosphère, puisque les conditions de l'expérience n'ont aucune ressemblance avec ce qui a lieu ordinairement dans l'air. Pendant les expériences d'Ingenhousz, de Sennebier, de Saussure, etc., qui ont été considérées comme des preuves que la respiration des plantes purifie l'air, il y avait toujours une proportion assez considérable d'acide carbonique de mêlée à l'atmosphère artificielle dans laquelle les plantes étaient renfermées ; tandis que ordinairement elles se trouvent dans un gaz qui, suivant M. Thenard, ne contient guère en acide carbonique que $\frac{1}{1738}$ᵐᶜ du total. Sans aucun doute, si la proportion d'acide carbonique mêlée à l'atmosphère était un peu forte, la propriété dont jouissent les plantes de produire de l'oxigène quand elles sont exposées aux rayons solaires, mettrait des limites matérielles à une trop grande augmentation de cet acide ; et même pour cela, il faudrait indispensablement admettre que la plante a la faculté de se saisir des plus petites quantités d'acide, et de les anéantir, à l'exclusion de l'air atmosphérique. Outre l'improbabilité d'une telle hypothèse, on peut dire qu'elle est contredite par les expériences d'Ingenhousz, qui trouva que les plantes s'imbibent indistinctement de toutes les espèces d'air avec lesquelles on les met en contact, comme, par exemple, d'oxigène, d'hydrogène, d'azote ; elle supposerait d'ailleurs l'interrup-

tion de ce qu'on pourrait appeler la fonction naturelle, la respiration. M. Ellis, dans son ouvrage, établit clairement la distinction qu'il faut admettre entre le changement artificiel qui se manifeste au soleil et les fonctions nécessaires de la plante. Dans un des cas, l'oxigène de l'atmosphère est consumé et remplacé par une quantité équivalente d'acide carbonique : c'est là précisément ce qui s'observe pendant la respiration des animaux, et ce que M. Ellis appelle les fonctions propres et naturelles des végétaux ; l'inverse de ce changement a lieu par l'action des rayons directs du soleil, et ne peut en aucune manière être considéré comme nécessaire à la vie des plantes. L'ouvrage cité renferme, à ce sujet, des argumens auxquels je renverrai, et qui me paraissent aussi concluans qu'il est possible. Si ces vues sont exactes, elles montrent combien il serait absurde d'admettre la cause d'amélioration de l'atmosphère dont nous avons parlé, puisqu'elle suppose l'interruption d'une fonction importante dans la végétation ; mais si la production d'acide carbonique a lieu, même au soleil, il devient très-intéressant, relativement à la question présente, de rechercher si l'acide est formé à la surface ou dans l'intérieur de la plante. Dans le premier cas, l'air serait nécessairement vicié par la respiration des végétaux ; car si le carbone est exhalé de la feuille et ne se combine avec l'oxigène de l'air qu'à l'extérieur, l'acide carbonique sera à peine formé qu'il se mêlera à l'atmosphère, et échappera aux actions réunies de la plante et du soleil. D'un autre côté, si l'acide carbonique a sa source dans la feuille même, il sera décomposé pendant l'action des rayons solaires ; mais la quantité d'oxigène développée

égalera celle qui avait été employée à la formation de l'acide, et conséquemment l'air ne recevra aucune amélioration par cette cause. De quelque manière que nous envisagions la respiration des plantes, il sera donc impossible d'y trouver la cause qui maintient la constance de composition de l'atmosphère.

On a avancé l'opinion que les végétaux ont la faculté de décomposer l'eau dont ils s'imbibent : cela peut être; mais je ne connais aucune expérience qui le prouve. Au contraire, il résulte des analyses de Sennebier, de Saussure et du grand nombre des miennes, que la quantité d'oxigène correspond exactement à l'acide carbonique employé. Je rappellerai d'ailleurs que si on laisse vivre la plante en vaisseau clos pendant un certain nombre de jours et de nuits, comme dans une expérience d'Ingenhousz et dans un essai de Sir Humphry Davy rapporté, si j'ai bonne mémoire, dans l'*Agricultural chemistry*, sa constitution, à la fin, ne paraît avoir éprouvé aucun changement, l'acide carbonique développé pendant la nuit étant, le jour suivant, décomposé en ses élémens par l'action du soleil.

D'autres ont supposé que la décomposition de l'acide carbonique contenu dans l'eau dont les plantes s'imbibent, est une des causes qui restituent de l'oxigène à l'atmosphère; mais je ne crois pas que cette opinion repose sur aucune expérience satisfaisante ni sur aucun fait bien observé.

(L'article qu'on vient de lire est tiré du N° VII du *Philosophical Journal* d'Edimburgh, 1821. Je crois me rappeler que la découverte de la propriété dont jouit le rayon violet de décomposer plus fortement l'acide car-

bonique que les autres rayons colorés, se trouve déjà dans les ouvrages de Sennebier ; mais j'ignore si ce célèbre naturaliste avait remarqué, dans ses expériences, comme le fait M. Giby, les différences qui dépendent de la proportion d'acide carbonique contenue dans le gaz soumis aux actions réunies de la plante et de la lumière solaire. (R.)

EXTRAIT *des Séances de l'Académie royale des Sciences.*

Séance du lundi 5 février 1821.

On lit une lettre du Ministre de l'Intérieur qui accorde à l'Académie une somme de 12000 francs pour l'impression de ses Mémoires.

M. Delambre, au nom d'une Commission, lit un rapport sur un *Mémoire* de M. Paravey *relatif à l'ancienneté des zodiaques des Egyptiens.*

L'Académie va au scrutin pour l'élection d'un correspondant dans la Section de Minéralogie : M. Daubuisson réunit la majorité des suffrages.

Séance du lundi 12 *février.*

M. Latreille, au nom d'une Commission, lit un rapport sur la relation abrégée d'un voyage dans la mer Noire fait par M. d'Urville, officier de marine, sur la gabarre la *Chevrette*, commandée par M. Gauttier, capitaine de vaisseau.

M. d'Urville a rapporté de sa campagne un grand

nombre d'observations d'histoire naturelle fort intéressantes ; il a fait cadeau au Muséum d'un herbier composé d'environ 500 espèces de plantes : le même établissement lui devra des insectes et d'autres animaux parmi lesquels s'est trouvé une espèce d'ophisaire d'autant plus intéressantequ'elle paraît être le *typhlyne* ou le *cœcilia* des anciens naturalistes. Tournefort avait soupçonné que les qualités vénéneuses du *rhododendron ponticum* pouvaient se communiquer aux glandes acétarifères de ses fleurs, et il expliquait par là ces vertiges, cette espèce d'ivresse qu'éprouvaient, dans la Colchide, des soldats de l'armée de Xénophon, après avoir mangé du miel de cette contrée. Si les faits rapportés par M. d'Urville étaient à l'abri de toute crititique, l'opinion du célèbre botaniste français se trouverait confirmée.

L'Académie, sur la proposition des commissaires, a décidé que M. d'Urville recevrait les témoignages de son estime.

M. de Humboldt présente une carte de l'île de Cuba rédigée sur ses propres observations et sur celles de M. Ferrer. La carte est accompagnée d'un plan du port et de la ville de la Havane.

M. de Humboldt lit ensuite de *Nouvelles Recherches sur la distribution des formes végétales.* (*Voyez* le Cahier de mars, tom. XVI p. 267.)

M. Vallée lit un *Mémoire sur une nouvelle théorie de la vision.* (Nous ferons connaître l'opinion des commissaires que l'Académie a nommés pour examiner ce travail.)

M. Chomel lit des *Observations sur l'emploi des sulfates de quinine dans les fièvres intermittentes.* (Elles sont renvoyées à l'examen d'une Commission.)

Séance du lundi 19 février.

L'Académie reçoit une lettre de M. Gauthier sur l'usage du sang de bœuf, et un extrait de divers Mémoires de M. Sorbier sur les principes du Monde. (Renvoyé à l'examen de deux Commissions.)

M. Cuvier lit un rapport sur le travail considérable que M. Jean-Victor Audouin avait présenté à l'Académie le 15 mai dernier, et qui a pour objet l'*anatomie comparative des parties solides des insectes*.

Ce Mémoire, immense par les détails qu'il présente, satisfaisant par la certitude des faits qu'il renferme, est encore très-intéressant par son objet, sous le rapport de l'anatomie proprement dite et de la mécanique animale, comme aussi sous le rapport de la simple histoire naturelle : il sera imprimé dans le *Recueil des Savans étrangers*.

M. Coquebert-de-Montbret lit un *Mémoire sur une Ebauche de carte minéralogique de France, sur laquelle ont été tracées les limites géographiques de la culture des vignes, des oliviers et des orangers*.

M. Dupin lit une note sur les conditions auxquelles les commissaires pourront décerner les prix annuels de mécanique fondés par M. de Montyon.

Séance du lundi 26 février.

M. Daubuisson adresse des remercîmens à l'Académie à l'occasion de sa nomination comme correspondant dans la Section de Minéralogie.

M. Massucci adresse le projet d'un bateau volant. M. Vidal propose une invention propre à remplacer les

paniers dits *escortins*, dont on se sert pour exprimer l'huile contenue dans les olives. M. Guichette fait connaître une nouvelle machine de son invention destinée à battre le blé. (Renvoyé à des Commissions.)

M. Rallier présente un *Mémoire sur la Cissoïde.*

M. Dutrochet commence la lecture d'un *Mémoire sur les parties végétantes des animaux vertébrés.*

M. Larch commence la lecture d'un *Mémoire sur les Fièvres catarrhales.*

Le Ministre de l'Intérieur avait adressé à l'Académie la question suivante :

« Quels sont les procédés qui pourraient être adoptés pour dénaturer les sels sans porter préjudice aux fabriques de soude artificielle, mais aussi sans laisser la possibilité de réapproprier les sels aux usages ordinaires de la vie par des opérations assez cachées, ou avec assez peu de frais, pour ménager des chances et des profits à la fraude? »

La Section de Chimie, qui avait été chargée de l'examen de cette question, a fait aujourd'hui son rapport. Elle a d'abord reconnu que la question, telle qu'on l'avait posée, est insoluble, à cause du prix élevé du sel; mais elle a cherché les moyens de rendre la fraude la plus difficile possible; voici ce qu'elle a proposé :

1°. Colorer le sel par $\frac{1}{2}$ centième de charbon de bois;

2°. L'infecter par $\frac{1}{2}$ millième d'huile provenant de la distillation des matières animales, ou par $\frac{1}{4}$ de centième de goudron;

3°. Faire le mélange dans les entrepôts;

4°. Exiger que les soudes aient au moins 20°, pour éviter qu'on ne verse dans le commerce des soudes qui

contiendraient à peine de l'alcali, et qui seraient tellement riches en sel marin, qu'il y aurait un grand avantage à extraire celui-ci.

Séance du lundi 5 mars.

M. Hallé rend compte, au nom d'une Commission, des *Recherches* que MM. Martinet et Parent Duchatelet, docteurs en médecine, avaient présentées à l'Académie, *sur l'inflammation de l'Arachnoïde cérébrale et spinale.*

Les conclusions du rapport sont que ce travail se fait remarquer par un esprit d'exactitude et de précision digne de louange; qu'il peut contribuer à perfectionner la connaissance et le diagnostic souvent bien difficile, d'une maladie très-importante à bien caractériser, et par conséquent à assurer le succès de son traitement; et qu'enfin il mérite d'être accueilli par l'Académie, et honoré de son approbation. Ces conclusions ont été adoptées.

La Commission chargée d'examiner les Mémoires qui ont concouru pour le prix relatif à l'anatomie comparative du cerveau, déclare qu'elle a arrêté à l'unanimité que le prix devait être décerné au Mémoire nº 4; l'auteur est M. Serre, médecin de l'hôpital de la Pitié: une mention honorable est accordée au Dr Sommé, auteur du Mémoire nº 3. (*Voyez,* tom. XVI, p. 307, l'extrait de la séance publique.)

M. Chevreul lit un *Mémoire sur la Saponification,* dont nous nous empresserons de rendre compte aussitôt que les commissaires nommés par l'Académie auront fait leur rapport.

La Section de Géométrie présente, en comité secret,

la liste suivante de candidats pour remplir la place de correspondant, vacante par la nomination de M. Gauss à celle d'associé étranger :

MM. Pfaff, à Halle; Ivory, en Ecosse; Plana, à Turin; Gergone, à Montpellier. Un membre demande que M. Woodhouse soit ajouté à la liste; cette proposition est adoptée. On discute les titres des divers candidats.

Séance du lundi 12 mars.

Le préfet de la Haute-Saône transmet, de la part de la Société d'Agriculture de ce département, un *Mémoire* du sieur Favaret, horloger à Jussey, *sur le moyen de simplifier le mécanisme des montres à répétition et des pendules*. Une Commission est chargée d'examiner ce Mémoire.

Le Ministre de l'Intérieur annonce à l'Académie que M. Palassou, qu'on croyait mort et au remplacement duquel on avait procédé, est au contraire plein de vie : l'Académie arrête que M. Daubuisson, nommé à la place de M. Palassou, demeurera correspondant, et qu'il ne sera pas fait d'élection à la première vacance.

M. Prechtel, directeur de l'Institut polytechnique de Vienne, adresse un *Mémoire* intitulé : *Du Magnétisme transversal, et des phénomènes qui en dépendent dans le fil conjonctif de la pile électrique*. (Il sera fait un rapport à ce sujet.)

M. Arago présente, au nom de M. Nicollet, les élémens de la comète découverte par ce jeune astronome. (*Voyez* le Cahier de janvier, p. 110.)

Au nom d'une Commission, M. Hallé fait un rapport sur un *Mémoire* de M. Chomel, intitulé : *Observations sur l'emploi des sulfates de quinine et de cinchonine dans les fièvres intermittentes.*

L'objet de l'auteur était de constater si les substances connues sous les noms de *quinine* et de *cinchonine* (*voyez* ce Journal, tome XV, pages 289 et 337), c'est-à-dire, les alcalis caractéristiques des quinquinas jaune et gris, combinés à l'état de sulfate, rendus plus solubles dans cette combinaison, et conservant l'amertume qui distingue les quinquinas d'où on les extrait, jouiraient aussi des propriétés fébrifuges dans un degré comparable à celles des écorces qui les fournissent.

Déjà M. Double, médecin d'une expérience très-étendue et d'un mérite bien apprécié, avait fait connaître, dans un Mémoire imprimé, les bons effets de ces composés dans le traitement des fièvres tierces et double-tierces, quartes et double-quartes. L'administration du sulfate de quinine avait eu, dans les mains de M. Double, un succès immédiat et complet, et presque toujours après les premières doses, sur *six* malades de différens âges, parmi lesquels se trouvaient un enfant de neuf ans, et une femme dont la santé était troublée par les irrégularités de l'âge critique. Le nombre d'observations rapportées par M. Chomel est de quatorze ; sur dix d'entre elles, la cessation de la fièvre a été due au sulfate de quinine ; elle a eu lieu ou immédiatement après la première dose, ou après la seconde. Les doses ordinairement efficaces ont été de 6 à 12 grains : on les a portées une seule fois à 24 ; dans un cas, on a obtenu un succès complet par la dose de 5 grains ; dans un autre, à

celle de 8 et de 12, quoique, dans le premier, le quinquina en substance eût été donné sans beaucoup d'effet à la dose de demi-once, et que, dans l'autre, l'extrait eût été administré à la dose d'un gros sans aucun résultat.

Le sulfate de cinchonine a été employé par M. Chomel dans un cas seulement : il a dû être porté de 6 à 20 et de 20 à 24 grains pour produire un effet complet.

Dans la 13e observation, on avait mis en usage sans aucun succès, d'abord la matière résineuse de quinquina à la dose d'une et de deux onces; puis la partie ligneuse à celle d'une once; en troisième lieu, le sulfate préparé avec la quinine extraite du quinquina de Carthagène, donné à la dose de 24 grains : immédiatement après ce dernier essai, le sulfate de quinine extraite du quinquina jaune, donné à la même dose, a terminé définitivement la fièvre.

Dans trois cas enfin, les sels de quinine ont échoué tout aussi bien que le quinquina en nature.

Le Mémoire de M. Chomel, auquel on joindra comme complément historique un extrait des observations déjà publiées de M. Double, sera inséré dans le *Recueil des Savans étrangers.*

L'Académie procède au scrutin pour la nomination d'un correspondant dans la Section de Géométrie : M. Pfaff réunit 28 voix, M. Ivory 20, M. Plana 7; M. Pfaff est proclamé correspondant.

M. Dutrochet continue la lecture qu'il avait commencée dans une des dernières séances, sur les parties végétantes des animaux : il promet la suite.

M. Audouin lit des *Observations sur les appendices copulateurs mâles des insectes, et particulièrement des*

bourdons. Il sera fait un rapport à l'Académie sur ce Mémoire.

On nomme au scrutin la Commission qui doit choisir un nouveau sujet de prix pour les sciences naturelles ; elle est composée de MM. Cuvier, Desfontaines, Berthollet, Lacépède et Hallé.

RAPPORT *fait à l'Académie des Sciences, le lundi 4 juin* 1821, *sur un Mémoire de M.* Fresnel *relatif aux couleurs des lames cristallisées douées de la double réfraction* (1).

M. FRESNEL s'est proposé, dans le Mémoire dont l'Académie nous a chargés de lui rendre compte, M. Ampère et moi (M. Arago), premièrement, de prouver que l'ingénieuse théorie de la *polarisation mobile*, d'après la-

---

(1) Quoique ce rapport ait été lu devant l'Académie des Sciences le lundi 4 juin 1821, ce n'est qu'à la séance suivante du 11 que cette assemblée a statué sur les conclusions qui le terminent, et auxquelles, dans l'intervalle, nous avions fait, M. Ampère et moi, de légères modifications. J'ai écouté avec la plus scrupuleuse attention la réplique que M. Biot a lue le 11 juin ; mais j'avoue avec franchise qu'elle ne m'a paru détruire aucune des preuves que nous avions données de l'insuffisance de la théorie de la polarisation mobile : j'attendrai, au reste, pour entrer à ce sujet dans une discussion détaillée, que M. Biot ait publié son nouveau Mémoire. (A.)

quelle M. Biot explique le mode de formation des vives couleurs qu'acquièrent les lames cristallisées lorsqu'après les avoir exposées à un faisceau polarisé on analyse la lumière émergente avec un rhomboïde de spath-calcaire, est, sur beaucoup de points, insuffisante ou inexacte; deuxièmement, de montrer que tous ces phénomènes de coloration qui, depuis quelques années, ont tant occupé les physiciens de France, d'Angleterre et d'Allemagne, sont des conséquences nécessaires de l'action mutuelle des deux faisceaux en lesquels la lumière se divise quand elle traverse la lame cristallisée.

Les effets de ce genre particulier d'action que deux rayons lumineux exercent l'un sur l'autre et qu'on désigne par le mot d'*interférence*, ayant jusqu'ici très-peu fixé l'attention des observateurs, il nous a semblé qu'il serait convenable de faire précéder l'analyse du Mémoire de M. Fresnel, de l'énoncé de toutes lois expérimentales relatives aux interférences, dont nous aurons l'occasion de nous servir.

Deux rayons de lumière homogène, émanant d'une même source, qui parviennent en un certain point de l'espace par deux routes différentes et légèrement inégales, s'ajoutent ou se détruisent; forment sur l'écran qui les reçoit un point clair ou obscur, suivant que la différence des routes a telle ou telle autre valeur.

Deux rayons s'ajoutent là où ils ont parcouru des chemins égaux; si l'on trouve qu'ils s'ajoutent de nouveau quand la différence des deux chemins est égal à une certaine quantité d, ils s'ajouteront encore pour toutes les différences comprises dans la série $2d$, $3d$, $4d$, etc. Les valeurs intermédiaires $o + \frac{1}{2}d$;

$d+\frac{1}{2}d$; $2d+\frac{1}{2}d$, etc. indiquent les cas dans lesquels des rayons se neutralisent réciproquement.

La quantité d n'a pas la même valeur pour tous les rayons homogènes ; dans l'air, elle est égale à $\frac{67}{100000}$ de millimètre relativement aux rayons rouges extrêmes du spectre, et seulement $\frac{42}{100000}$ pour les rayons violets. Les valeurs correspondantes aux autres couleurs sont intermédiaires entre celles que nous venons de rapporter.

La différence de route ne détermine seule l'espèce d'action que deux rayons exercent l'un sur l'autre dans le point de leur croisement, qu'alors qu'ils se sont mus constamment, tous les deux, dans le même milieu. S'il existe quelque diversité entre les réfringences ou les épaisseurs des corps diaphanes traversés par chaque rayon, elle produit un effet égal à une différence de chemin.

Dans tous les phénomènes d'interférence, deux milieux différens produisent des effets pareils lorsqu'ils ont des épaisseurs en raison inverse des *coefficiens* de leurs réfractions : nous appelons de ce nom de *coefficient*, comme le font les physiciens anglais, le rapport du *sinus* d'incidence à celui de réfraction.

Une polarisation préalable des rayons modifie, à plusieurs égards, les lois précédentes des interférences. Voici les résultats que MM. Fresnel et Arago ont obtenus dans un travail qu'ils avaient entrepris en commun, et qui a été publié dans les *Annales de Chimie et de Physique*.

Deux rayons de lumière polarisés *dans un même sens*, agissent l'un sur l'autre comme des rayons naturels.

Dans les mêmes circonstances où deux rayons de lu-

mière ordinaire paraissent mutuellement se détruire, *deux rayons polarisés à angles droits ou en sens contraires* n'exercent l'un sur l'autre aucune action appréciable.

Deux rayons *primitivement polarisés en sens contraires* peuvent ensuite être ramenés à un même plan de polarisation, *sans néanmoins acquérir par là la faculté de s'influencer.*

Deux rayons polarisés en sens contraires, et ramenés ensuite à des polarisations analogues, s'influencent comme des rayons naturels, s'ils proviennent d'un faisceau primitivement polarisé dans un seul sens.

Occupons-nous maintenant, après avoir énoncé ces lois, de l'analyse du Mémoire que l'Académie a renvoyé à notre examen.

Pour expliquer les phénomènes de coloration que produisent les lames cristallisées lorsqu'on les éclaire par des rayons polarisés, M. Biot suppose que ces lames n'agissent pas sur la lumière comme des cristaux épais; voici quels sont, suivant lui, les principes fondamentaux du genre d'action particulier aux lames : ces principes forment la base de ce qu'il a appelé la *théorie de la polarisation mobile.*

« Lorsqu'un rayon de lumière simple, polarisé sui-
» vant une direction fixe, traverse perpendiculairement
» une lame cristallisée parallèle à l'axe de double réfrac-
» tion, les molécules lumineuses commencent par pé-
» nétrer jusqu'à une certaine profondeur sans perdre
» leur polarisation primitive; après quoi leur mouve-
» ment de translation continuant toujours, elles se met-
» tent à osciller périodiquement sur elles-mêmes, de
» manière que leur axe de polarisation se transporte

» alternativement de part et d'autre de l'axe du cristal
» ou de la ligne perpendiculaire, dans des amplitudes
» égales, comme un pendule autour de la verticale
» dont on l'a écarté. Chacune des oscillations s'exécute
» dans une épaisseur $2l'$, double de celle que la molé-
» cule avait parcourue d'abord avant d'entrer en oscil-
» lation.

» ....

» Ce mouvement oscillatoire (nous citons toujours tex-
» tuellement le *Traité de Physique expérimental et ma-
» thématique*) s'arrête lorsque les molécules lumineuses,
» parvenues à la seconde surface de la lame, sortent
» dans l'air ou dans tout autre milieu qui ne possède pas
» la double réfraction. Alors, si l'on soumet le rayon
» émergent à l'action d'un prisme de spath d'Islande, ou
» d'une glace inclinée, ou de tout autre système qui pro-
» duise la polarisation fixe, les molécules lumineuses
» se comportent comme si elles possédaient complè-
» tement le sens de polarisation vers lequel leur der-
» nière oscillation les conduisait, soit qu'elles l'aient en-
» tièrement achevée, ou seulement commencée à l'instant
» où elles sont sorties du cristal. »

(*Tr. de Ph.*, tome IV, pag. 391-392.)

D'après ce second principe, « lorsque la lumière *sim-
» ple* traverse des lames minces d'un même cristal taillé
» parallèlement à l'axe, les alternatives de polarisation
» qu'elle présente à sa sortie doivent suivre des périodes
» exactement pareilles. Ainsi, ajoute M. Biot, depuis
» l'épaisseur *zéro* jusqu'à une certaine épaisseur fonda-
» mentale e', les molécules *homogènes* qui la composent
» se comportent, après leur émergence, comme si elles

» n'avaient pas quitté leur polarisation primitive. *Depuis* » *e' jusqu'à* $2e'$, elles se comportent comme si elles » l'avaient quittée pour en prendre une nouvelle dans » l'azimuth $2i$; et enfin, elles paraissent *alternati-* » *vement* polarisées dans l'azimuth *o* ou dans l'azi- » muth $2i$ (tome IV, page 389). »

M. Biot rapporte enfin, page 390, une expérience destinée, suivant lui, à prouver que les molécules lumineuses, à mesure qu'elles « s'enfoncent dans une seule » et même lame, y subissent réellement ces alter- » natives........ »

Rapprochons ces divers paragraphes des résultats contenus dans le Mémoire de M. Fresnel. Cet habile physicien annonce d'abord que les lois de la polarisation mobile données par M. Biot ne s'accordent avec l'observation que dans des cas très-particuliers; nous pensons devoir rapporter ici une des expériences sur lesquelles il fonde cette assertion, et dont il nous a rendus fréquemment témoins.

Il place une lame de sulfate de chaux de manière que son axe fasse un angle de 45° avec le plan primitif de polarisation de la *lumière homogène* par laquelle il veut la faire traverser. Dans cette position, $2i$ étant égal à 90°, le faisceau transmis devrait être polarisé, suivant les principes précédens, ou dans le plan primitif ou dans le plan perpendiculaire : cependant, quand on l'analyse avec un rhomboïde de spath calcaire, il donne, *si la lame a l'épaisseur convenable*, deux images de même intensité dans toutes les positions de la section principale; il faut donc nécessairement admettre, ou que la lumière a été complètement dépolarisée dans la lame,

ou qu'elle s'est partagée par moitié entre le plan primitif et l'azimuth $2i$: or, aucune de ces deux suppositions ne s'accorde évidemment avec l'énoncé de la loi que M. Biot a donnée.

Si l'on représente par d, cette différence des chemins parcourus dont nous avons parlé précédemment et qui détermine la suite périodique des points de l'espace dans lesquels l'interférence de deux rayons homogènes donne lieu à une obscurité complète, on pourra calculer, à l'aide des règles suivantes, les épaisseurs des lames qui produisent les phénomènes décrits par M. Biot, et les épaisseurs dans lesquelles les phénomènes, au contraire, ne s'accordent pas avec ses lois.

Lorsque la différence des chemins parcourus dans la lame par les rayons ordinaire et extraordinaire sera égale à o, à nd, ou à $(n+\frac{1}{2})\,d$, n étant un nombre entier, la lumière transmise paraîtra polarisée toute entière dans le plan primitif ou dans l'azimuth $2i$.

Quand l'épaisseur du cristal sera telle que la différence des chemins parcourus pourra être déduite de la formule $(n+\frac{1}{4})\,d$, n étant encore un nombre entier, il y aura dans la lumière transmise absence totale de polarisation si l'axe de la lame est à 45° du plan de polarisation primitif.

Dans tous les autres cas, enfin, on reconnaît aisément, si l'on examine les rayons émergens avec un rhomboïde, qu'ils ne sont que partiellement polarisés.

Suivant les principes de la polarisation mobile, la lumière n'acquiert pas subitement, en traversant les cristaux, les deux polarisations fixes et rectangulaires qu'on a d'abord remarquées dans les faisceaux ordinaires et extraordinaires transmis par un rhomboïde de carbonate

de chaux : ce n'est qu'après avoir pénétré dans le cristal à des épaisseurs sensibles, et qui, pour le quartz, par exemple, seraient, suivant M. Biot, de plusieurs millimètres, que les axes des molécules commenceraient à se trouver rangés dans le plan de la section principale et dans le plan perpendiculaire. M. Fresnel pense, au contraire, que la lumière qui émerge de tout cristal à un seul axe, mince ou épais, est constamment composée de deux faisceaux polarisés dans des directions rectangulaires : ceci n'a jamais offert d'exception dans les cristaux qui, en raison de leur épaisseur ou de leur taille, séparaient assez les rayons ordinaires des rayons extraordinaires pour qu'on pût étudier séparément leurs propriétés. Voici comment M. Fresnel s'y est pris pour prouver que la même loi doit être étendue aux lames les plus minces et à faces parallèles :

Après avoir réuni la lumière solaire dans un point très-petit, à l'aide d'une lentille d'un court foyer appliquée au volet d'une chambre obscure, on reçoit le faisceau divergent de rayons, sur deux miroirs de verre légèrement inclinés l'un à l'autre. Si nous supposons que l'angle d'incidence soit d'environ 35°, les faisceaux réfléchis par l'un et par l'autre miroir seront complètement polarisés, et en se croisant dans l'espace, formeront, par leur interférence, des bandes obscures et brillantes. Examinées avec un rhomboïde, ces bandes seront polarisées, pour toutes les positions des miroirs réfléchissans, dans le même azimuth que les deux faisceaux qui concourent à leur production, d'où se déduit la conséquence, déjà énoncée au commencement de ce rapport, que la lumière qui résulte de l'interférence de deux faisceaux polarisés dans un sens déterminé est elle-

même polarisée comme les deux faisceaux composans.

Prenons maintenant une lame de sulfate de chaux très-limpide, et coupons-la par le milieu afin d'avoir deux lames d'égale épaisseur. Fixons l'une des moitiés de cette lame en avant des miroirs, de telle sorte qu'elle ne soit traversée que par le faisceau réfléchi sur la surface du premier; admettons de plus que sa section principale fasse un angle de 45° avec le plan primitif de polarisation; plaçons ensuite l'autre moitié de la lame sur la route des rayons polarisés que le second miroir réfléchit, mais de manière que sa section principale étant perpendiculaire à celle de la première, fasse, comme elle, avec le plan primitif de polarisation, un angle de 45°.

Si ces lames agissent comme des cristaux épais, elles doivent, l'une et l'autre, quelle que soit d'ailleurs la petitesse de leur double réfraction, partager les rayons réfléchis qui les traversent en deux faisceaux de même intensité et polarisés à angle droit; il arrivera seulement, dans les positions particulières qu'elles occupent par hypothèse, que le faisceau ordinaire de la lame de droite, par exemple, sera polarisé *dans le même sens* que le rayon extraordinaire de lame de gauche; et réciproquement, que le faisceau ordinaire provenant de cette dernière lame, aura une polarisation analogue à celle du faisceau extraordinaire qui émerge de la lame opposée.

Ceci une fois admis, il est facile de prévoir ce qui arrivera dans les points où les deux faisceaux viendront à se croiser. Les rayons ordinaires provenant de la lame de droite pourront d'abord interférer avec les rayons extraordinaires que donne la lame de gauche, puisqu'ils sont polarisés dans le même sens, et formeront un pre-

mier système de bandes obscures et brillantes. Un second système résultera de l'action des rayons extraordinaires de droite sur les rayons ordinaires de la lame de gauche ; ces deux groupes de bandes seront d'autant plus séparés que les lames auront plus d'épaisseur, et que le genre de cristal auquel elles appartiennent jouira d'une plus forte double réfraction. Dans l'espace intermédiaire se trouvent les rayons de même nom fournis par les deux lames ; mais comme ils sont ici polarisés en sens opposés, ils se croiseront sans donner naissance à aucun phénomène d'interférence, et l'œil n'y apercevra qu'une lumière uniforme.

Il n'est pas moins évident que chacun des systèmes de franges, quand on se sert de sulfate de chaux, devra être complètement polarisé dans un plan perpendiculaire à l'axe de la lame la plus voisine : or, il n'est aucune de ces conséquences, résultant de la supposition d'où nous sommes partis que les deux lames décomposent la lumière comme des cristaux épais, qui ne soit parfaitement conforme à l'expérience.

Dans les principes de la polarisation mobile de M. Biot, les phénomènes se présenteraient avec des circonstances entièrement différentes. Les deux lames interposées laisseraient leur polarisation primitive aux rayons transmis, ou bien les repolariseraient dans l'azimuth $2i$; mais i, par hypothèse, étant égal à 45°, les plans de polarisation définitifs des faisceaux émergens seraient le plan primitif ou le plan perpendiculaire ; tels devraient être, conséquemment aussi, les sens de polarisation des deux systèmes de bandes formés par l'interférence des rayons ordinaires et extraordinaires provenant des

deux lames : or, loin que l'observation confirme cette conséquence des lois de la polarisation mobile, on peut dire qu'elle lui est aussi contraire que possible. Si on place, en effet, la section principale d'un rhomboïde dans le plan primitif de polarisation des rayons réfléchis par les miroirs ou dans le plan perpendiculaire, non-seulement on apercevra une image ordinaire et une image extraordinaire de chacun des systèmes de bandes; mais ces positions du cristal seront précisément celles qui donneront aux deux images des intensités exactement pareilles.

Pour peu qu'on ait réfléchi sur les seuls cas dans lesquels les rayons lumineux donnent des effets appréciables d'interférence, on verra que les deux systèmes de bandes qui ont fait l'objet des expériences dont nous venons d'entretenir l'Académie, ne peuvent, comme nous l'avons admis, résulter que de la rencontre des rayons ordinaires d'une lame avec les rayons extraordinaires de la lame opposée. Si toutefois on paraissait avoir quelque doute à ce sujet, nous ajouterions qu'il est facile de refaire cette expérience en substituant aux lames minces qui nous servaient d'abord, des cristaux épais (deux rhomboïdes de carbonate de chaux, si l'on veut), dans lesquels la double réfraction serait manifeste. Comme on pourrait alors suivre la marche de chaque faisceau, et les arrêter tour-à-tour avec des écrans, on prouverait, par le fait même, que pour la formation d'un des groupes de bandes, il faut et il suffit que le faisceau ordinaire d'un des cristaux rencontre le faisceau extraordinaire de l'autre, et réciproquement. Le sens de la polarisation des bandes, déterminé à l'aide d'un rhomboïde, serait d'ailleurs exactement le même que dans

l'expérience des lames minces. Le seul trait de dissemblance se trouverait dans la distance qui séparerait les deux groupes : celle-ci, dépendant toujours de la différence entre les chemins parcourus par les rayons ordinaires et extraordinaires, serait beaucoup plus grande dans l'expérience faite avec les cristaux que dans celle des lames ; il pourrait même arriver, si les cristaux étaient très-épais, que pour amener de nouvelles franges dans le champ de la vision, il fallût compenser une partie de la différence de route ou de vitesse, à l'aide de l'interposition d'un verre plan placé sur le chemin parcouru par l'un des faisceaux : mais, en tout cas, les conséquences de l'observation se présenteraient avec la même netteté. Nous ajouterons une dernière circonstance qui, à elle seule, trancherait toutes les difficultés qu'on pourrait faire sur la véritable cause de la formation des deux systèmes de franges dans le cas des lames minces : ce sera que l'intervalle qui sépare ces franges est tellement lié à la double réfraction des lames, que, dans des expériences que l'un de nous (M. Arago) a faites avec M. Fresnel, on en a toujours déduit une valeur numérique exacte de cette double réfraction, comme il a été facile de le reconnaître en la mesurant ensuite par les méthodes ordinaires sur des cristaux épais de même nature.

En résumé, un rayon lumineux qui traverse une lame mince de sulfate de chaux s'y partage généralement en deux rayons, l'un ordinaire et l'autre extraordinaire. Mathématiquement parlant, ces deux rayons suivent dans le cristal des routes différentes; mais il n'est pas possible de les séparer physiquement, parce qu'à cause de l'imperfection de nos organes, on est forcé de viser à des images d'une certaine largeur. On voit maintenant où

réside la difficulté, dans les recherches entreprises par MM. Biot et Fresnel, sur le genre de polarisation que chacun des deux rayons a dû éprouver dans la lame. M. Biot, sans essayer d'isoler ces rayons, se contente d'examiner en masse les propriétés de la lumière émergente. Il trouve que, dans certains cas que nous avons fait connaître, cette lumière, composée à la fois de rayons ordinaires et de rayons extraordinaires, paraît conserver sa polarisation primitive, ou semble polarisée toute entière dans l'azimuth $2i$: c'est sur cela qu'il fonde la conclusion que les lames minces agissent tout autrement que les cristaux épais. M. Fresnel, s'il ne sépare pas à la rigueur les deux classes de rayons émergens, les isole du moins par leurs effets. Quand il veut étudier les propriétés des rayons ordinaires, il jette sur l'espace où ces rayons se trouvent mêlés aux rayons extraordinaires, un faisceau polarisé comme les premiers, et qui, conséquemment, ne peut interférer qu'avec eux : le champ de la vision se trouve composé alors, pour ainsi dire, d'un rideau de lumière uniforme provenant du faisceau extraordinaire, et d'un système de franges obscures et brillantes, à la formation desquelles ont seulement concouru les rayons ordinaires, et les rayons, par hypothèse semblablement polarisés, du faisceau additionnel. Les propriétés de ces franges, relativement à la polarisation, doivent donc nous apprendre quelles sont celles du faisceau ordinaire, puisque le fait de l'interférence ne les change pas : or, il est évident que la présence du faisceau extraordinaire ne peut aucunement empêcher de déterminer la situation du plan de polarisation des rayons dont les franges sont formées.

Après avoir rapporté les expériences à l'aide desquelles M. Fresnel a démontré l'insuffisance de la théorie de la polarisation mobile, nous devons faire connaître comment il est parvenu à rattacher les couleurs des lames minces, à ces mêmes principes des interférences dont il avait déjà tiré un si heureux parti pour l'explication des phénomènes aussi nombreux que variés de la diffraction.

L'idée que les vives couleurs dont les lames cristallisées se revêtent lorsqu'on les expose à des faisceaux polarisés, dépendent de l'interférence des rayons ordinaires et extraordinaires en lesquels la lumière se partage quand elle traverse ces lames, appartient incontestablement au Dr Thomas Young. Peu de temps après la publication du Mémoire dans lequel M. Biot a indiqué la nature des teintes dépolarisées par des lames de cristal de roche parallèles à l'axe et de diverses épaisseurs, le savant secrétaire de la Société royale découvrit qu'à toutes ces épaisseurs et sous toutes les incidences, les couleurs correspondaient précisément aux différences de chemins parcourus par les rayons ordinaires et extraordinaires.

Cet accord remarquable ne pouvait pas néanmoins être regardé comme une preuve démonstrative que l'interférence des rayons était la vraie cause de la coloration des lames, puisque M. Young n'avait pas même essayé d'expliquer dans cette hypothèse, plusieurs des circonstances les plus frappantes du phénomène : comme, par exemple, pourquoi l'*éclat* des teintes varie avec la position de l'axe du cristal et avec celle de la section principale du rhomboïde qui sert à les observer, relativement au plan primitif de polarisation des rayons transmis ;

pourquoi la lumière polarisée, si on examine la lame à l'œil nu, et la lumière non polarisée, alors même qu'on se sert d'un rhomboïde, ne donnent naissance à aucune coloration appréciable, etc.

Quant à M. Fresnel, il a embrassé la question dans toute sa généralité, et s'est proposé de prouver qu'il n'est pas une seule des lois qu'on a déduites de l'observation, sur les phénomènes de polarisation colorée produits par des lames parallèles à l'axe de double réfraction, qui ne soit une conséquence nécessaire de l'interférence des deux faisceaux ordinaires et extraordinaires.

Voyons d'abord comment M. Fresnel parvient à concilier l'expérience par laquelle il prouve que les lames cristallisées partagent la lumière en deux faisceaux polarisés à angles droits, avec ce fait, en apparence si opposé, que si la lame a une épaisseur convenable, l'ensemble des rayons polarisés qui la traversent pourra, à sa sortie, ne sembler polarisé que dans le plan primitif ou dans l'azimuth $2i$.

On forme, dans une chambre obscure, un point rayonnant de lumière homogène fort petit, par le moyen que nous avons déjà indiqué. On reçoit le faisceau de lumière divergente qui part de ce point sur un miroir de verre dont la seconde face est recouverte d'un mastic noir, et qui conséquemment ne réfléchit les rayons qu'à sa surface antérieure. Pour fixer les idées, nous donnerons à ce miroir une position verticale; nous supposerons de plus que le faisceau divergent est à-peu-près horizontal, et qu'il rencontre la face réfléchissante sous un angle peu éloigné de celui de la polarisation complète.

Ces premières dispositions étant achevées, on place

sur la route que suivent les rayons réfléchis par le miroir un rhomboïde de spath calcaire dont la section principale fasse avec le plan horizontal auquel, par hypothèse, celui de réflexion est parallèle, un angle de 45° : dans cette position du rhomboïde, la lumière qui le traverse se divise en deux faisceaux, l'un ordinaire, l'autre extraordinaire, polarisés à angle droit et de même intensité. A leur sortie du premier rhomboïde, ces deux faisceaux en rencontrent un second de même épaisseur, mais dont la section principale est perpendiculaire à celle du précédent : le faisceau ordinaire émergent y éprouvera donc la réfraction extraordinaire ; réciproquement le faisceau, qui était extraordinaire à sa sortie du premier cristal, deviendra ordinaire en traversant le second : ces deux nouveaux faisceaux ordinaires et extraordinaires demeurent polarisés à leur émergence, dans le plan de la section principale du second cristal et dans le plan qui lui est perpendiculaire.

Suivons maintenant ces deux faisceaux par la pensée : il est d'abord évident qu'à cause de leur commune divergence ils se croiseront dans une étendue d'autant plus grande qu'on s'éloignera davantage du rhomboïde. Leurs points de départ étant distincts et sensiblement séparés, l'observateur pourra arrêter tour-à-tour le rayon ordinaire et le rayon extraordinaire ; il éclairera donc, à volonté, un même point de l'espace commun aux deux faisceaux, soit avec l'un, soit avec l'autre de ces rayons pris séparément, soit enfin avec tous les deux à la fois.

Plaçons un verre légèrement dépoli dans une partie du champ commun aux deux faisceaux ; marquons par une ouverture très-fine pratiquée dans une lame opaque

et adaptée à ce verre, le lieu précis vers lequel notre attention va se porter, et servons-nous, comme d'habitude, d'un rhomboïde de spath calcaire pour analyser les diverses espèces de lumière qui, après avoir traversé la fente du diaphragme, viendront se peindre au fond de l'œil.

Nous reconnaîtrons d'abord aisément que le rayon ordinaire, quand il arrive seul à l'ouverture, quelle que soit d'ailleurs sa place, n'y éprouve aucune modification et qu'il reste polarisé comme il l'était auparavant : il en est de même du rayon extraordinaire; mais si ces deux rayons, après s'être croisés dans la fente, viennent à travers le rhomboïde se peindre simultanément au fond de l'œil, le phénomène variera d'un point de l'espace à l'autre : ici, la lumière composée des deux faisceaux paraîtra avoir conservé la polarisation imprimée aux rayons dans leur première réflexion sur le miroir de verre noirci; plus loin, le plan de polarisation semblera perpendiculaire au précédent, ce qui correspond précisément à l'azimuth $2\,i$, puisque $i = 45°$. Dans un point intermédiaire entre ceux-là, la lumière qui a traversé la fente, ne présentera aucune trace appréciable de polarisation. Cette expérience nous offre donc le singulier phénomène de deux faisceaux polarisés à angle droit, qui se croisent d'abord dans l'espace, se réunissent ensuite sur le fond de l'œil, et forment, en somme, un faisceau tantôt polarisé dans un sens et tantôt dans un autre, suivant que la différence des chemins parcourus par les deux faisceaux composans a telle ou telle autre valeur.

Nous n'avons employé, dans cette expérience, un verre dépoli que pour fixer les idées; car il n'est aucunement

nécessaire à sa réussite : on peut également se passer de la petite fente. La loupe avec laquelle M. Fresnel étudiait, dans le Mémoire couronné par l'Académie, les jeux d'interférence des rayons diffractés, lui sert également ici à examiner les franges aériennes produites par les rencontres des faisceaux lumineux. Quand on se place, par exemple, avec la loupe en face des deux rhomboïdes croisés, l'œil ne reçoit qu'une lumière uniforme et continue; mais aussitôt qu'un cristal donnant deux images est convenablement interposé entre la loupe et ces rhomboïdes ou entre la loupe et l'œil, on aperçoit deux systèmes de franges obscures et brillantes. Les franges claires d'une des images correspondent toujours aux bandes obscures de l'autre. La frange du milieu, par exemple, est brillante dans l'image ordinaire si la section principale du cristal interposé est parallèle au plan primitif de polarisation; alors, au contraire, elle est obscure dans l'image extraordinaire : ce qui prouve que pour cette dernière image on ne peut calculer les effets des interférences qu'en ajoutant $\frac{1}{2}d$ à la différence des chemins parcourus. Mais quand la section principale du cristal interposé est perpendiculaire au plan originaire de polarisation, les rôles se trouvent changés; c'est alors la frange centrale de l'image extraordinaire qui est brillante, conformément aux principes généraux des interférences, tandis que dans l'image ordinaire cette même frange est complètement obscure, comme si la différence de route entre les rayons qui la forment, au lieu d'être nulle, était $\frac{1}{2}d$.

M. Fresnel donne, dans son Mémoire, une règle qui s'applique à toutes les positions azimuthales que peuvent

prendre les sections principales des deux rhomboïdes croisés et celle du cristal placé devant l'œil, relativement au premier plan de polarisation, et à l'aide de laquelle on découvre aisément si c'est pour les rayons de l'image ordinaire ou pour ceux de l'image extraordinaire que la quantité $\frac{1}{2} d$ doit être ajoutée à la différence des chemins parcourus.

Dans la lumière homogène, l'expérience a donné naissance à deux systèmes de franges obscures et brillantes. Quand on se sert de lumière blanche, ces franges deviennent colorées parce que d n'a pas des valeurs égales pour les rayons de différentes nuances, et l'on y remarque les mêmes teintes que la lumière polarisée développe dans les lames cristallisées de toutes les épaisseurs possibles.

Peu de mots vont maintenant nous suffire pour montrer comment M. Fresnel explique la production de ces teintes.

Un rayon polarisé qui traverse une lame cristallisée s'y divise en deux faisceaux polarisés en sens contraires; mais deux faisceaux de cette espèce n'interfèrent point: une lame ne donnera donc pas de couleurs à l'œil nu, lors même qu'elle ne sera éclairée que par de la lumière polarisée.

Chacun des deux faisceaux ordinaire ou extraordinaire provenant de la première lame, se partage en traversant un prisme achromatisé ou un rhomboïde, en deux faisceaux polarisés à angle droit : parmi les quatre faisceaux émergens il en est deux ordinaires et deux extraordinaires qui peuvent mutuellement s'influencer : or, dans les deux faisceaux qui concourent à la formation de l'image ordinaire, l'un était ordinaire en traversant la lame, et s'est conservé ordinaire dans le prisme achromatisé; tandis que l'autre, qui était d'abord extraordinaire, n'a passé à l'image ordinaire que par l'action de ce cristal. Les rayons de noms différens ont, dans les cristaux doués de la double réfraction, des vitesses dissemblables. Nous avons vu d'ailleurs que des différences de vitesse produisent, relativement aux phénomènes d'interférence, des périodes exactement pareilles à celles qui ré-

sultent de l'inégalité des chemins parcourus : si donc, dans la lame employée, la différence entre les vitesses des rayons ordinaires correspond à la quantité d qui règle par ses multiples les périodes d'accord des rayons rouges, ce sera évidemment la lumière de cette teinte qu'on verra prédominer dans l'image ordinaire ; il en sera de même à l'égard des rayons de toutes les autres couleurs.

Si l'expérience des deux rhomboïdes croisés ne nous avait pas prouvé que pour calculer les actions mutuelles des rayons lumineux qui en traversant des cristaux doués de la double réfraction changent plusieurs fois de plan de polarisation, il ne suffit pas des règles ordinaires d'interférence, nous serions arrêtés ici par une grande difficulté : la différence de vitesse étant la même pour les deux rayons dont l'image extraordinaire est formée à sa sortie du prisme achromatisé et pour les rayons de l'image ordinaire, ces deux images paraîtraient devoir être de même couleur ; mais si l'on se rappelle qu'il faut ajouter $\frac{1}{2}d$ à la différence des chemins parcourus par les rayons qui forment l'un des faisceaux, on verra, au contraire, que d, correspondant dans l'image ordinaire à l'accord des rayons rouges, $\frac{1}{2}d$ occasionera leur destruction mutuelle dans l'image extraordinaire ; que l'espèce de lumière que donne le blanc quand on en retranche du rouge, y dominera ; et qu'en somme les deux images de la lame, vues à travers le prisme achromatisé, seront toujours complémentaires : ce qui est conforme aux observations. Les teintes se trouvent ainsi déterminées par les différences de marche entre les rayons ordinaires et les rayons extraordinaires dans l'épaisseur de la lame, comme celles des anneaux colorés ordinaires le sont par la différence de route des rayons réfléchis à la première et à la seconde surface de la lame d'air. Pour qu'on ne regarde pas ceci comme une simple analogie, nous ajouterons que les différences des chemins parcourus qui correspondent à une teinte déterminée sont exactement les mêmes dans les deux cas.

M. Fresnel explique avec la même facilité toutes les autres circonstances du phénomène ; il déduit, par exemple, de sa théorie les positions de la lame et du prisme

achromatisé pour lesquelles on ne voit aucune couleur dans les deux images, et trouve précisément les positions que l'observation a fait connaître; il montre ensuite que les variations d'intensité qui dépendent des positions azimuthales du prisme achromatisé ou de la lame, sont des conséquences également nécessaires des principes des interférences, etc.

Pour traiter convenablement la question plus compliquée des lames croisées, M. Fresnel résout d'abord le problème général que voici : « Etant données les intensités d'un nombre quelconque de faisceaux lumineux, » leurs positions respectives, ou leurs divers degrés d'ac» cords ou de discordances, déterminer l'intensité de la » lumière totale. » Les formules auxquelles il parvient par des considérations particulières fondées sur la théorie des ondes, mais qui ne sauraient trouver place ici, sont précisément celles qui lui avaient déjà servi à déterminer la position et l'intensité des bandes diffractées. Ces formules se sont accordées avec les expériences connues; un seul cas paraissait faire exception : c'est celui où deux lames de même nature, parallèles à l'axe et d'égale épaisseur, ont leurs axes croisés sous l'angle de 45°. M. Biot annonce (*Traité de Physique*, tom. IV, p. 407) que si la section principale du rhomboïde de spath calcaire dont on se sert pour analyser la lumière transmise est parallèle ou perpendiculaire au plan primitif de polarisation, la teinte de chaque image reste invariable quand on fait tourner dans son plan le système des deux lames croisées (1). Les formules de M. Fresnel indiquaient, au

---

(1) (Voici le passage de M. Biot relatif aux lames croisées, t. IV, p. 407). Les lames étant croisées de manière que leurs axes fassent un angle de 45°, « je laisse, dit M. Biot, ce sys» tème exposé perpendiculairement au rayon polarisé qui a » servi pour le régler, et j'analyse la lumière transmise en » me servant d'un prisme rhomboïdal achromatique dont la » section principale soit dirigée dans le plan primitif de polari» sation. *On trouve alors que la teinte extraordinaire est* » *constante, quelque position que l'on donne aux lames* » *en les tournant dans leur plan*...... » Plus bas, à la

contraire, que chacune des deux images ne pouvait être semblable à elle-même qu'aux azimuths 45°, 90°, 135°, 180°, etc. Dans toutes les positions intermédiaires, elles devaient varier l'une et l'autre : or, vérification faite, il s'est trouvé que les images ordinaires et extraordinaires varient par le mouvement de la lame composée. Ces variations, comme la formule l'indique, sont très-légères relativement à la nature de la teinte ; mais quant à l'intensité, il est impossible de les méconnaître si on se sert de lumière polarisée homogène.

Les résultats curieux renfermés dans le Mémoire que l'Académie avait renvoyé à notre examen, sont de nouvelles preuves de la persévérance infatigable, de l'exactitude et de la rare sagacité de M. Fresnel ; ses expériences occuperont par la suite, quand la théorie des interférences aura reçu de nouveaux développemens et sera plus répandue, une place distinguée parmi les plus ingénieux travaux des physiciens modernes ; dès à présent elles établissent qu'il y a, non pas seulement de simples analogies, mais la liaison la plus intime entre les phénomènes de coloration des lames cristallisées, le phénomène des anneaux colorés ordinaires, et celui de la diffraction. A notre avis, M. Fresnel prouve jusqu'à l'évidence que toutes ces couleurs sont de simples effets d'interférence ; nous ne proposerons pas néanmoins à l'Académie de se prononcer sur une matière aussi difficile, et qui peut-être sera encore entre les physiciens l'objet de beaucoup de contestations : nos conclusions se borneront

---

même page 407, M. Biot ajoute : « Les teintes données par » les lames égales et croisées à 45° ne sont pas seulement » constantes sous l'incidence perpendiculaire : elles le sont » encore sous toutes les incidences et dans tous les azimuts, » pourvu que le rhomboïde qui sert pour analyser la lu- » mière ait sa section principale parallèle ou perpendiculaire » au plan du méridien. »

(*Note ajoutée par le Rapporteur.*)

à demander que l'important Mémoire de M. Fresnel soit inséré dans le *Recueil des Savans étrangers*.

Signé à la Minute, Ampère; F. Arago, *Rapporteur*.

L'Académie adopte les conclusions du Rapport.

N.B. Plusieurs années s'étant écoulées entre l'époque de la présentation des Mémoires de M. Fresnel et celle où nous avons fait le rapport, nous croyons devoir avertir que le travail renvoyé à notre examen se composait d'un Mémoire lu à l'Académie le 7 octobre 1816, et d'un Supplément qui avait été parafé par M. Delambre le 19 janvier 1818. Nous ne parlons pas ici des notes remises par l'auteur aux commissaires en divers temps, quoiqu'elles aient été déposées au Secrétariat de l'Institut à la suite de la discussion que le rapport a fait naître, parce qu'elles ne renferment que de simples développemens des expériences consignées dans les deux écrits de 1816 et de 1818. (A.)

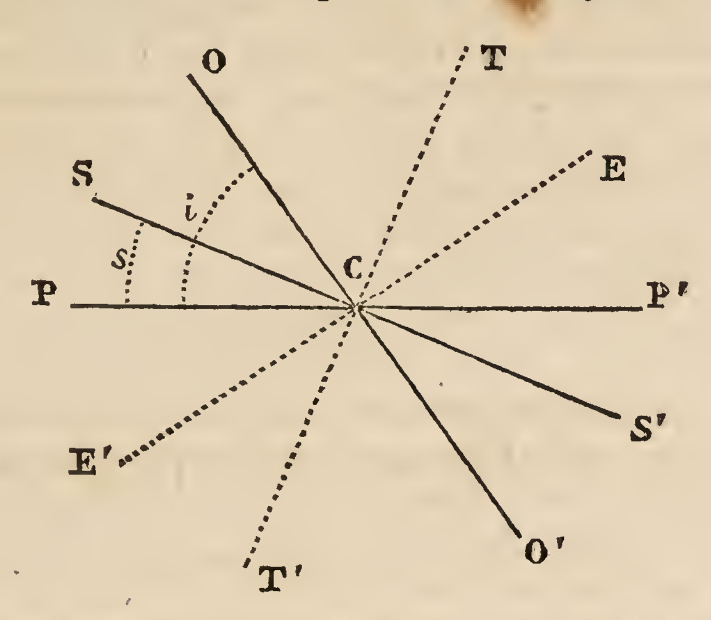
Note *sur le Calcul des teintes que la polarisation développe dans les lames cristallisées.*

Par Mr A. Fresnel.

On a vu, dans le rapport de M. Arago, que la nature de ces teintes est déterminée par la différence de marche entre les deux systèmes d'ondes dans lesquels la lumière se divise en traversant un cristal qui jouit de la double réfraction; mais que les deux images produites par le rhomboïde de spath calcaire au travers duquel on fait passer la lumière émergente étant toujours complémentaires, il en résulte nécessairement que si l'une répond à la différence de marche des deux systèmes d'ondes dans la lame cristallisée, l'autre répond à la même différence augmentée ou diminuée d'une demi-ondulation. Voici la règle générale qui fait connaître pour laquelle des deux images il faut ajouter une demi-ondulation à la différence des chemins parcourus : *l'image dont la teinte correspond précisément à la différence des chemins parcourus est celle dont les plans de polarisation des deux faisceaux constituans, après s'être écartés l'un de l'autre, se rapprochent ensuite par un mouvement contraire pour se réunir; tandis que les plans de polarisation des deux faisceaux constituans de l'image complémentaire continuent à s'éloigner l'un de l'autre (considérés d'un seul*

côté de leur commune intersection), jusqu'à ce qu'ils se soient placés sur le prolongement l'un de l'autre.

Cette règle devient plus facile à entendre, à l'aide de la figure suivante, dans laquelle PP' représente le plan primitif de polarisation des rayons incidens, OO' la section principale de la lame cristallisée, et SS' celle du rhomboïde au travers duquel on la regarde.



On voit que la lumière incidente, d'abord polarisée suivant CP, se divise, en traversant la lame cristallisée, en deux parties, l'une qui éprouve la réfraction ordinaire et reçoit une nouvelle polarisation suivant CO, l'autre qui éprouve la réfraction extraordinaire et se trouve polarisée dans un plan CE' perpendiculaire à CO. Représentons le premier par F_o et le second par F_e. Le passage au travers du rhomboïde divise F_o, polarisé suivant CO, en deux autres systèmes d'ondes, l'un polarisé suivant la section principale CS, que je représente par F_{o+o}', et le second polarisé suivant un plan perpendiculaire CT, que jappellerai F_{o+e}'. De même F_e, polarisé suivant CE', se divise dans le rhomboïde en deux systèmes d'ondes, le premier F_{e+o}' polarisé suivant CS, et le second F_{e+e}', polarisé suivant CT'. Si l'on suit le mouvement des plans de polarisation des deux faisceaux F_{o+o}' et F_{e+o}', qui concourent à la formation de l'image ordinaire (en les considérant d'un seul côté de leur commune intersection projetée en C), on voit que, partis primitivement de CP, ils s'écartent l'un de l'autre pour prendre les directions CO et CE', et, se rapprochant ensuite, se réunissent en CS. Or, dans ce cas, l'image ordinaire répond précisément à la différence des chemins parcourus, au même instant, par les rayons ordinaires et extraordinaires sortis de la lame cristal-

lisée. Si l'on suit de même la marche des plans de polarisation des deux faisceaux de l'image extraordinaire F_{o+e}' et F_{e+e}', on voit que partis l'un et l'autre de CP, et après avoir pris dans la lame cristallisée les directions CO et CE', au lieu de se rapprocher ensuite, ils continuent à s'écarter jusqu'à ce qu'ils se soient placés sur le prolongement l'un de l'autre dans les directions CT et CT'; ainsi, d'après la règle que nous venons de donner, il faut ajouter une demi-ondulation à la différence des chemins parcourus par ces deux systèmes d'ondes, ou, ce qui revient au même, changer dans l'un d'eux les signes des mouvemens oscillatoires, pour calculer, par la formule d'interférence, le système d'ondes qui résulte de la réunion de ces deux faisceaux. On voit que les choses se passent absolument comme s'il s'agissait de la combinaison de forces dirigées dans le plan de la figure, c'est-à-dire, perpendiculairement aux rayons, suivant leurs plans de polarisation, ou perpendiculairement à ces plans; car les composantes des deux forces CO et CE', qui se réuniraient en CS, auraient le même signe, comme les deux faisceaux F_{o+o}' et F_{e+o}' qui s'y sont réunis, et les deux autres composantes CT et CT', agissant en sens opposés, devraient être affectés de signes contraires.

Le principe de la conservation des forces vives indiquait d'avance que les deux images doivent être complémentaires l'une de l'autre; mais il ne désignait pas laquelle des deux répond à la différence des chemins parcourus, et laquelle répond à la même différence augmentée d'une demi-ondulation; c'est pourquoi j'ai eu recours aux faits, et j'ai déduit des observations de M. Biot la règle que je viens d'énoncer.

Elle explique pourquoi deux faisceaux de lumière directe, qui ont été polarisés à angle droit, ne présentent aucune apparence d'influence mutuelle lorsqu'on les ramène à un plan commun de polarisation par l'action d'une pile de glaces ou d'un rhomboïde de spath calcaire. Ce n'est pas qu'ils n'exercent alors aucune influence l'un sur l'autre; car, indépendamment des considérations mécaniques, cette supposition serait trop contraire à l'analogie; mais c'est que les effets produits par les différens systèmes d'ondes de la lumière directe se compensent et se neutralisent mutuellement. En effet, on peut concevoir la lumière directe comme l'assemblage ou plus exactement la succession rapide d'une infinité de systèmes d'ondes polarisés dans tous les azimuts, et de telle sorte qu'il y a toujours autant de lumière polarisée dans un plan quelconque que dans le plan perpendiculaire : or, il

résulte de la règle que nous venons d'énoncer, que si, par exemple, l'on doit ajouter une demi-ondulation à la différence des chemins parcourus pour calculer l'image extraordinaire produite par la lumière polarisée suivant le premier plan, il ne faut point l'ajouter pour l'image extraordinaire qui résulte de la lumière polarisée suivant le second; en sorte que les deux teintes qu'elles apportent ensemble ou successivement dans l'image extraordinaire sont complémentaires. La compensation qui s'établit ainsi, et de la même manière pour tous les azimuts, empêche d'apercevoir les effets d'interférence.

Reprenons le cas représenté par la figure, où la lumière incidente a éprouvé une polarisation préalable suivant le plan PP' avant de traverser la lame cristallisée, dont la section principale OO' fait un angle i avec ce plan, et cherchons, pour une espèce particulière de lumière homogène d'une longueur d'ondulation égale à λ, quelles doivent être les intensités des images ordinaires et extraordinaires, données par le rhomboïde de spath calcaire, dont la section principale SS' fait un angle s avec le plan primitif PP'. Je ferai abstraction, dans ce calcul, de la perte de lumière occasionée par les réflexions partielles aux deux surfaces de la lame cristallisée et du rhomboïde, parce qu'elle n'a d'influence que sur les intensités absolues des images, et aucune sur leurs intensités relatives, les seules qui nous intéressent ici. Je représente par F l'intensité des vitesses des molécules éthérées dans leurs oscillations (1), pour le faisceau incident polarisé; son *intensité de lumière* sera représentée par F^2, ou l'intensité de la force vive, d'après le sens même qu'on attache à la 1re expression, et la manière dont on évalue les intensités de lumière dans toutes les expériences d'optique; puisque c'est la somme des forces vives, et non celle des vitesses d'oscillation, qui reste constante, comme l'intensité totale, dans les diverses subdivisions que la lumière peut éprouver. Cela posé, le faisceau incident, en traversant la lame cristallisée, se divise en deux autres, dont les intensités lumineuses doivent être égales, d'après la loi de Malus, à $F^2 \cos^2 i$, pour celui qui subit la réfraction ordinaire, et $F^2 \sin^2 i$, pour celui qui subit la réfraction extraordinaire : l'intensité des

---

(1) Dorénavant, pour abréger, j'appellerai ces vitesses, *vitesses d'oscillation*. Il ne faut pas les confondre avec la durée d'oscillation, qui reste toujours constante pour la même espèce de rayons, quelle que soit l'intensité de la lumière.

vitesses d'oscillation sera donc dans le premier $F \cos i$ et dans le second $F \sin i$ (1). Ainsi, la lumière incidente, en traversant la lame cristallisée, se divise en deux systèmes d'ondes, qu'on peut représenter de la manière suivante :

$$\begin{array}{cc} \text{Cos}\, i\, F_o & \sin i\, F_e \\ P.O. & P.E'. \end{array}$$

Les petites lettres o et e, placées au bas de F, ne changent en rien la valeur de cette quantité ; elles indiquent seulement la longueur des chemins parcourus au même instant par les rayons ordinaires et extraordinaires après qu'ils sont sortis de la lame cristallisée, et déterminent ainsi, par leur différence $o-e$, l'intervalle qui sépare les points correspondans des deux systèmes d'ondes. Les majuscules $P.O$ et $P.E'$ montrent la marche successive du plan de polarisation de chaque faisceau, pour faciliter l'application de la règle énoncée précédemment.

Chacun de ces deux systèmes d'ondes se divisera en deux autres par l'action du rhomboïde de spath calcaire, ce qui produira en tout les quatre faisceaux suivans, dont les deux premiers sont produits par le premier système d'ondes, et les deux autres par le second :

$$\begin{array}{cc} \text{Cos}\, i \cos(i-s)\, F_{o+o'}, & \cos i \sin(i-s)\, F_{o+e'}, \\ P.O.S. & P.O.T. \\ \text{Sin}\, i \sin(i-s)\, F_{e+o'}, & \sin i \cos(i-s)\, F_{e+e'}. \\ P.E'.S. & P.E'.T'. \end{array}$$

Le premier avec le troisième composent l'image ordinaire, et le deuxième avec le quatrième l'image extraordinaire. Calculons d'abord l'intensité de celle-ci.

On voit, d'après la marche des plans de polarisation indiquée par les majuscules placées sous chaque faisceau, que le deuxième et le quatrième, ramenés à un plan commun de polarisation, doivent différer d'une demi-ondulation, indépendamment de la différence $o-e$ entre les chemins parcourus ; il faut donc ajouter une demi-ondulation à $o-e$, ou, ce qui revient au même, changer le signe d'une des

(1) Si les oscillations lumineuses, comme je suis très-porté à le croire, s'exécutent uniquement dans le plan de l'onde, perpendiculairement au plan de polarisation, la loi de Malus devient une conséquence simple et rigoureuse du principe de la composition et de la décomposition des petits mouvemens.

expressions qui représentent l'intensité ou le facteur commun des vitesses d'oscillation. Il s'agit donc de trouver la résultante de deux systèmes d'ondes, dont la différence de marche est $o-e$ et les intensités des vitesses d'oscillation sont respectivement égales à

$$F\cos i \sin(i-s) \text{ et } -F\sin i \cos(i-s).$$

En appliquant ici la formule générale que j'ai donnée dans l'extrait de mon Mémoire sur la diffraction, page 258 du tome XI des *Annales de Chimie et de Physique*,

$$A^2 = a^2 + a'^2 + 2aa'\cos 2\pi\left(\frac{c}{\lambda}\right),$$

dans laquelle a et a' représentent les intensités des vitesses d'oscillation des deux systèmes d'ondes, 2π la circonférence dont le rayon est 1, c la différence des chemins parcourus et λ la longueur d'ondulation, on trouve pour l'intensité de la lumière homogène dans l'image extraordinaire :

$$F^2\left\{\cos^2 i \sin^2(i-s) + \sin^2 i \cos^2(i-s)\right.$$

$$\left. - 2\sin i \cos i \sin(i-s)\cos(i-s)\cos 2\pi\left(\frac{o-e}{\lambda}\right)\right\},$$

$$\text{ou } F^2\left\{\left(-\cos i \sin(i-s) + \sin i \cos(i-s)\right)^2\right.$$

$$\left. + 2\sin i \cos i \sin(i-s)\cos(i-s)\left(1-\cos 2\pi\left(\frac{o-e}{\lambda}\right)\right)\right\},$$

$$\text{ou enfin, } F^2\left\{\sin^2 s + \sin 2i \sin 2(i-s)\sin^2 \pi\left(\frac{o-e}{\lambda}\right)\right\}.$$

En faisant un calcul semblable sur les deux faisceaux constituans de l'image ordinaire, et observant que les deux expressions $F\cos i \cos(i-s)$ et $F\sin i \sin(i-s)$ doivent avoir le même signe, en raison de la marche des plans de polarisation, on trouve, pour l'intensité de la lumière dans l'image ordinaire :

$$F^2\left\{\cos^2 s - \sin 2i \sin 2(i-s)\sin^2 \pi\left(\frac{o-e}{\lambda}\right)\right\}.$$

Voilà les formules générales qui donnent l'intensité de chaque espèce de lumière homogène dans les images ordinaire et extraordinaire en fonction de sa longueur d'ondulation et de la différence des chemins parcourus $o-e$ par les rayons qui ont traversé la lame cristallisée. Connaissant son

épaisseur et les vitesses des rayons ordinaires et des rayons extraordinaires dans ce cristal, il sera facile de déterminer $o-e$. Dans le sulfate de chaux, le cristal de roche et la plupart des autres cristaux jouissant de la double réfraction, $o-e$ n'éprouve que de très-légères variations en raison de la différence de nature des rayons lumineux, en sorte qu'on peut le regarder comme une quantité constante, du moins pour les cristaux que nous considérons ici, où la *dispersion de double réfraction* est très-petite relativement à la double réfraction. Si après avoir calculé la différence de marche $o-e$, on la divise successivement par la longueur moyenne d'ondulation de chacune des sept principales espèces de rayons colorés; et si l'on substitue successivement ces différens quotiens dans les expressions ci-dessus, on aura les intensités de chaque espèce de rayons colorés dans les images ordinaire et extraordinaire, et l'on pourra déterminer alors leurs teintes à l'aide de la formule empyrique que Newton a donnée pour trouver la teinte résultant d'un mélange quelconque de rayons divers dont on connaît les intensités relatives. C'est pourquoi l'on doit considérer les formules générales qui donnent l'intensité de chaque espèce de lumière homogène en fonction de sa longueur d'ondulation comme l'expression même de la teinte produite par la lumière blanche. C'est du moins tout ce qu'on peut déduire à présent de la théorie; et pour le reste, il faut avoir recours à la construction empirique de Newton, fondée sur l'expérience; car expliquer et calculer théoriquement l'effet produit sur l'œil par un mélange de rayons hétérogènes, c'est un double problème de physique et de physiologie qu'on est sans doute encore loin de résoudre.

Reprenons les formules ci-dessus, en supprimant le facteur commun F^2, qu'on peut prendre pour unité de lumière :

Image ordinaire, $\cos^2 s - \sin 2i \sin 2(i-s) \sin^2 \pi \left(\frac{o-e}{\lambda}\right)$.

Image extraord., $\sin^2 s + \sin 2i \sin 2(i-s) \sin^2 \pi \left(\frac{o-e}{\lambda}\right)$.

On voit, à l'inspection de ces formules, que les deux images doivent devenir blanches lorsque le terme qui contient

$$\sin^2 \pi \left(\frac{o-e}{\lambda}\right)$$

s'évanouit, puisque c'est le seul qui varie avec la longueur d'ondulation, et qui rend l'intensité différente pour les di-

vers rayons colorés. Ainsi les images deviendront blanches quand on aura :

$$\sin 2i \sin 2(i-s) = o ;$$

équation à laquelle on satisfait en égalant à zéro,

$$\sin 2i \text{ ou } \sin 2(i-s) ;$$

ce qui donne pour i les quatre valeurs

$$i = o,\ i = 90^\circ,\ i = 180^\circ,\ i = 360^\circ ;$$

et pour s,

$$s = i,\ s = 90^\circ - i,\ s = 180^\circ - i,\ s = 360^\circ - i.$$

Il suffit donc, pour que les images deviennent blanches, qu'une de ces huit conditions soit satisfaite, c'est-à-dire que la section principale de la lame cristallisée soit parallèle ou perpendiculaire au plan primitif de polarisation ou à la section principale du rhomboïde ; ce qu'on pouvait déduire aisément de la théorie sans le secours de la formule ; car, lorsque la section principale de la lame est parallèle ou perpendiculaire au plan primitif, la lumière incidente ne subit qu'une espèce de réfraction dans ce cristal ; et lorsque cette section principale est parallèle ou perpendiculaire à celle du rhomboïde, chaque image ne contient que des rayons qui ont éprouvé la même réfraction dans la lame cristallisée : ainsi, dans un cas comme dans l'autre, chaque image ne contient qu'un seul système d'ondes ; partant plus de couleurs, puisqu'il n'y a plus d'interférences.

Les deux images sont, au contraire, colorées l'une et l'autre avec le plus de vivacité possible, quand le coëfficient du terme variable est égal à l'unité ; ce qui arrive lorsque $s = o$ et $i = 45^\circ$; alors les deux expressions deviennent :

Image ordinaire, $1 - \sin^2 \pi \left(\frac{o-e}{\lambda}\right)$ ou $\cos^2 \pi \left(\frac{o-e}{\lambda}\right)$.

Image extraordinaire.................. $\sin^2 \pi \left(\frac{o-e}{\lambda}\right)$.

Il est à remarquer que la seconde expression est semblable à celle qui donne, pour les anneaux colorés, la résultante des deux systèmes d'ondes réfléchies sous l'incidence perpendiculaire à la première et à la seconde surface de la lame d'air, lorsque son épaisseur est égale à $\frac{1}{2}(o-e)$, ce qui rend la différence des chemins parcourus égale à $o-e$. En effet, représentons par $\frac{1}{2}$ l'intensité d'oscillation de chaque système d'ondes, et remarquons que leurs vitesses d'oscillation doivent

être prises avec des signes contraires, parce que l'un est réfléchi en dedans du milieu le plus dense et l'autre en dehors; ce qui entraîne l'opposition de signe, comme il résulte des calculs de M. Young et de M. Poisson sur la réflexion des ondes à la surface de contact de deux milieux élastiques de densités différentes. Cela posé, on trouve pour l'intensité de la lumière résultante, d'après la formule que nous avons déjà employée :

$$\frac{1}{4}+\frac{1}{4}-2\cdot\frac{1}{2}\cdot\frac{1}{2}\cdot\cos 2\pi\left(\frac{o-e}{\lambda}\right),\ \text{ou}\ \frac{1}{2}-\frac{1}{2}\cos 2\pi\left(\frac{o-e}{\lambda}\right),$$

$$\text{ou enfin, } \sin^2\pi\left(\frac{o-e}{\lambda}\right).$$

Ainsi, les teintes de l'image extraordinaire produites par les lames cristallisées doivent être semblables à celles des anneaux réfléchis, du moins tant que la différence de marche $o-e$ produite par le cristal ne varie pas sensiblement avec la nature des rayons; car, dans les anneaux colorés, cette différence de marche étant le double de l'épaisseur de la lame d'air, est rigoureusement la même pour toutes les espèces de rayons.

Les expressions ci-dessus :

$$\cos^2\pi\left(\frac{o-e}{\lambda}\right)\ \text{et}\ \sin^2\pi\left(\frac{o-e}{\lambda}\right),$$

qui donnent les intensités respectives des images ordinaire et extraordinaire dans une lumière homogène dont la longueur d'ondulation est λ, lorsque l'axe de la lame cristallisée fait un angle de 45° avec le plan primitif de polarisation, et que la section principale du rhomboïde est parallèle à ce plan, font voir que l'*ensemble* des deux systèmes d'ondes qui sortent de la lame cristallisée doit être polarisé suivant le plan primitif de polarisation, quand $o-e$ est égal à zéro ou à un nombre entier d'ondulations, puisqu'alors

$$\sin^2\pi\left(\frac{o-e}{\lambda}\right)$$

devenant égal à zéro, l'image extraordinaire s'évanouit. Au contraire, quand $o-e$ est égal à un nombre impair de demi-ondulations, c'est

$$\cos^2\pi\left(\frac{o-e}{\lambda}\right)$$

qui devient nul, et par conséquent l'image ordinaire qui s'é-

vanouit; d'où l'on doit conclure que la lumière *totale* est polarisée dans le plan perpendiculaire à la section principale, qui est précisément ici ce que M. Biot appelle l'azimuth $2i$. Mais pour toutes les valeurs intermédiaires de λ, l'*ensemble* des deux systèmes d'ondes ne peut présenter qu'une polarisation partielle, et même il doit paraître complètement dépolarisé lorsque $o-e$ est égal à un nombre impair de quarts d'ondulation, parce qu'alors

$$\cos^2 \pi \left(\frac{o-e}{\lambda} \right) \text{ et } \sin^2 \pi \left(\frac{o-e}{\lambda} \right)$$

devenant l'un et l'autre égaux à $\frac{1}{2}$, les deux images sont de même intensité, et que cela a lieu, quel que soit l'azimuth dans lequel on tourne la section principale du rhomboïde, comme on peut s'en convaincre par les formules générales présentées plus haut, en y faisant :

$$i = 45^\circ \text{ et } \sin^2 \pi \left(\frac{o-e}{\lambda} \right) = \frac{1}{2};$$

car alors elles deviennent :

Image ordinaire .... $\cos^2 s - \frac{1}{2} \cos 2s = \frac{1}{2}$.

Image exraordinaire. $\sin^2 s + \frac{1}{2} \cos 2s = \frac{1}{2}$.

Il est aisé de voir de même sur les formules générales, quelque soit la valeur de i, que lorsque $o-e$ est égal à zéro ou à un nombre pair de demi-ondulations, l'image extraordinaire s'évanouit pour $s=o$, et que lorsque $o-e$ est égal à un nombre impair de demi-ondulations, la même expression devient nulle si l'on y fait $s=2i$, et que, par conséquent, la lumière totale est polarisée suivant le plan primitif dans le premier cas, et dans le second, suivant l'azimuth $2i$; tandis que, pour toutes les valeurs intermédiaires de $o-e$, il ne peut y avoir disparition complète d'aucune image, de quelque manière qu'on tourne la section principale du rhomboïde. Toutes ces conséquences de la théorie sont confirmées par l'expérience.

Dans une seconde note, j'indiquerai la manière de calculer les teintes produites par un nombre quelconque de lames superposées, et je donnerai les formules générales pour le cas de deux lames dont les sections principales font entre elles un angle quelconque. J'y joindrai aussi quelques considérations mécaniques sur la polarisation et la double réfraction, ainsi que sur la cause des propriétés remarquables que nous avons découvertes, M. Arago et moi, dans la lumière polarisée.

JOURS.	9 HEURES DU MATIN			MIDI.			3 HEURES DU SOIR.			9 HEURES DU SOIR.			THERMOMÈTRE.		ÉTAT DU CIEL	VENTS.
	Barom. à 0°.	Therm extér.	Hygr.	Barom. à 0°.	Therm. extér.	Hygr.	Barom. à 0°.	Therm. extér.	Hygr.	Barom. à 0°.	Therm. extér.	Hygr.	maxim.	minim.	à midi.	
1	756,18	+ 9,5	92	755,93	+10,4	86	755,07	+11,2	85	754,93	+10,2	93	+11,2	+ 8,8	Couvert et brumeux.	E.
2	754,02	+12,6	80	753,82	+16,2	61	753,23	+16,0	59	752,80	+13,5	77	+16,3	+10,2	Quelques éclaircies.	O.
3	751,72	+16,5	64	750,71	+20,8	58	749,34	+19,5	52	749,00	+13,7	80	+21,5	+ 8,5	Quelques éclaircies.	S. E.
4	750,36	+19,5	62	749,98	+21,4	53	748,50	+20,2	49	749,75	+15,4	88	+21,4	+11,2	Nuageux, tonnerre.	S. E.
5	748,32	+18,5	59	747,76	+21,2	50	746,72	+19,1	50	747,48	+11,5	78	+22,0	+10,1	Très-nuageux.	S. O.
6	748,13	+15,0	52	749,20	+14,9	46	749,95	+15,5	38	751,98	+ 9,2	52	+15,5	+ 9,2	Nuageux.	O. S. O. fort.
7	756,42	+13,3	63	757,50	+17,0	46	758,22	+16,9	40	760,03	+ 9,5	64	+17,0	+ 9,0	Très nuageux.	O.
8	761,36	+15,1	69	761,13	+19,5	60	761,06	+17,5	60	761,87	+14,6	80	+19,5	+ 9,8	Couvert.	S. S. O
9	762,67	+17,8	66	762,75	+18,8	63	762,63	+15,6	80	764,22	+11,9	79	+19,0	+11,9	Quelques éclaircies.	O. S. O.
10	765,62	+13,9	64	765,18	+15,8	46	764,17	+16,2	43	764,15	+10,3	62	+16,2	+ 7,1	Couvert en partie.	O.
11	761,78	+15,5	51	760,45	+17,2	52	759,82	+15,2	59	758,75	+14,4	65	+17,3	+ 9,2	Couvert.	O.
12	756,63	+15,2	65	756,00	+15,2	66	755,03	+15,9	65	752,53	+12,2	66	+16,0	+12,2	Couvert.	O.
13	746,60	+13,0	55	744,50	+15,2	50	743,97	+12,5	56	741,43	+ 6,5	72	+15,3	+ 6,3	Nuageux.	S. O. fort.
14	745,22	+12,1	59	745,17	+11,0	64	745,57	+13,2	52	745,37	+10,0	71	+13,2	+ 5,9	Nuageux.	S O.
15	743,80	+ 8,1	72	743,74	+14,[illegible]	52	745,17	+10,9	62	748,93	+ 8,1	70	+14,0	+ 7,8	Très-nuageux.	S. O. fort.
16	755,34	+13,5	56	755,40	+16,2	45	756,63	+14,2	46	758,85	+10,1	67	+16,2	+ 5,0	Nuageux.	O. S. O. fort.
17	760,70	+14,0	63	759,94	+16,5	59	759,57	+19,4	60	757,73	+13,6	72	+19,4	+ 8,2	Couvert.	S. S O.
18	756,84	+16,5	72	756,96	+18,8	66	757,94	+17,5	60	751,24	+ 7,8	65	+18,8	+11,5	Quelques éclaircies.	S. O.
19	764,05	+17,0	53	764,15	+17,8	40	763,47	+18,8	36	762,77	+11,7	60	+19,5	+ 6,8	Nuageux.	N. N. O.
20	760,52	+13,6	64	760,35	+13,6	73	760,30	+14,4	64	759,90	+11,0	71	+14,4	+ 9,8	Pluie fine par interv.	N.
21	758,56	+13,5	60	757,70	+15,5	43	756,02	+16,2	36	755,14	+11,1	50	+16,2	+ 7,2	Très-nuageux.	E.
22	754,47	+14,0	50	754,03	+16,0	37	753,18	+16,6	35	752,21	+13,3	44	+16,6	+ 7,3	Très-nuageux.	E. N. E.
23	748,77	+16,3	71	747,16	+20,1	57	745,30	+14,1	72	747,00	+11,5	71	+20,1	+10,3	Quelques éclaircies.	S.
24	752,87	+11,0	67	753,84	+12,1	43	754,74	+12,8	36	757,43	+ 7,5	65	+12,8	+ 6,8	Quelques éclaircies.	N. O. fort.
25	758,35	+13,8	45	757,66	+15,9	36	756,80	+13,2	36	755,10	+10,0	54	+15,9	+ 2,8	Très-nuageux.	N.
26	752,28	+ 6,0	71	751,92	+ 7,0	64	751,93	+ 6,8	69	753,04	+ 4,1	70	+10,4	+ 2,8	Pluie.	N. O.
27	755,52	+10,4	55	755,64	+ 8,5	70	755,64	+ 9,0	75	756,84	+ 5,8	80	+10,4	+ 1,3	Pluie par intervalles.	O.
28	759,42	+ 9,5	60	759,78	+11,3	50	760,34	+12,5	54	761,62	+ 9,2	64	+12,5	+ 4,9	Pluie.	S. O.
29	762,21	+13,0	46	761,87	+14,9	39	761,30	+14,9	33	762,07	+10,0	59	+15,3	+ 4,5	Nuageux.	O.
30	761,57	+13,6	52	761,00	+15,0	46	759,82	+15,8	43	759,20	+12,8	62	+16,2	+ 6,9	Nuageux.	E. N. E.
31	758,40	+16,1	55	757,84	+19,5	45	757,33	+20,8	36	757,02	+17,1	48	+20,8	+ 8,6	Légers nuages.	E.
1	755,48	+15,2	67	755,40	+17,6	57	754,89	+16,8	56	755,62	+12,0	75	+17,9	+ 9,6	Moyennes du 1 au 10.	Pluie en centim.
2	755,15	+13,9	62	754,72	+15,6	57	754,75	+15,2	56	755,26	+10,5	63	+16,4	+ 8,3	Moyenn. du 11 au 20	Terrasse, 4,610
3	756,58	+12,4	57	756,22	+14,1	48	755,67	+13,9	48	756,06	+10,2	61	+15,2	+ 5,8	Moyenn. du 21 au 31.	Cour, 4,955
	755,76	+13,8	62	755,47	+15,7	54	755,12	+15,2	53	755,65	+10,8	63	+16,5	+ 7,8	Moyennes du mois, +12,1.	

Sur *la Manière d'analyser les mines de nickel, et sur une nouvelle combinaison du nickel avec l'arsenic et le soufre.*

Par J. Berzelius.

Dans ces dernières années, on nous a donné deux métaux nouveaux (1) tirés des mines de nickel. On a ensuite trouvé que ces métaux n'étaient que des alliages de nickel, de fer et d'arsenic. Le célèbre Richter fut même trompé, il y a vingt ans, par un tel alliage, qu'il prit pour un nouveau métal, et qu'il nomma *nicolanum*.

La cause de toutes ces méprises doit être cherchée dans l'imperfection des méthodes analytiques dont on s'est servi pour séparer le nickel des autres substances, surtout de l'arsenic et du fer dont il est accompagné. Plusieurs arséniates métalliques, principalement celui de fer, ont la propriété de se dissoudre dans les acides, comme s'ils étaient des bases salifiables faibles; les alcalis les précipitent souvent sans altérer leur composition, et lorsqu'on réduit ces oxides moyennant du charbon, on obtient des arséniures qui, comparés avec les métaux purs, paraissent être des substances métalliques particulières. Les chimistes qui se sont accoutumés à examiner tout par le chalumeau ne pourront cependant point s'y tromper, parce que même la plus petite trace d'arsenic se mani-

(1) *Vestium* et *Wodanium*.

feste à l'odorat lorsqu'on chauffe ces substances avec de la soude sur un support de charbon.

1. *Manière ordinaire d'analyser les mines de nickel.*

On fait dissoudre la mine pulvérisée dans de l'acide nitrique étendu. Il reste du soufre mêlé avec un peu de silice. On pèse le résidu, on brûle le soufre et on pèse de nouveau la silice restante.

La dissolution nitrique, évaporée à sec, est reprise par de l'acide nitrique concentré pour acidifier l'arsenic, et pour rendre le fer oxidé insoluble (1), lequel on sépare ensuite. Ce dernier procédé est cependant absolument inexact; car l'arséniate de fer se dissout facilement lorsque la liqueur contient de l'acide en excès.

La dissolution acide, presque neutralisée par un alcali, est précipitée par du nitrate de plomb, qui en sépare de l'arséniate de plomb; mais comme ce dernier est soluble dans l'acide nitrique, il faut évaporer à sec et reprendre la masse sèche par de l'eau. Il est bien certain que si l'on pouvait séparer le fer par le moyen indiqué plus haut, on parviendrait à séparer le nickel de l'arsenic moyennant le nitrate de plomb. Mais ordinairement le précipité ainsi obtenu contient à la fois de l'arséniate de fer et de l'arséniate de plomb, dans le mélange desquels il est impossible de calculer la quantité de l'arsenic. En outre, lorsqu'on fait dissoudre un arséniure dans de l'acide nitrique sans y ajouter de l'acide muriatique, une

---

(1) *Aikin's Dictionary of Chemistry*. II. 136.

très-grande quantité de l'arsenic est transformée en acide arsénieux, et le précipité devient un mélange d'arséniate et d'arsénite de plomb.

Du liquide qui contient le nickel et le plomb ajouté en excès, on précipite ce dernier par du sulfate de soude; on ajoute ensuite de l'ammoniaque jusqu'à redissoudre l'oxide de nickel, et on obtient l'alumine ou toute autre substance insoluble dans l'ammoniaque, qui peut être mêlée avec la mine de nickel. On évapore la dissolution ammoniacale et on précipite le nickel par du sous-carbonate de soude ou de potasse, en prenant soin de faire évaporer toute trace d'ammoniaque mise en liberté par le carbonate.

L'oxide de nickel, ainsi obtenu, contient le plus souvent du cobalt. M. Thenard et Fourcroy ont essayé de séparer ces deux oxides en les sur-oxidant moyennant l'oxi-muriate de chaux, et en traitant les sur-oxides avec de l'ammoniaque, qui décompose et dissout le sur-oxide de nickel avec exclusion de celui de cobalt. Cette méthode n'est cependant point entièrement exacte; car la partie dissoute contient un peu de cobalt et le résidu contient du nickel.

M. Philips trouva une autre méthode plus propre à être employée dans les analyses. Elle consiste en ce que l'on délaie la solution ammoniacale des deux oxides avec beaucoup d'eau, après quoi on y ajoute une solution d'hydrate de potasse aussi long-temps qu'il se forme un précipité. Le nickel se précipite et le cobalt reste dans la liqueur, d'où on l'obtient par l'évaporation de l'ammoniaque. Cette méthode n'est pás rigoureusement exacte, mais les traces de cobalt qui se précipitent

avec le nickel peuvent être entièrement négligées par rapport au résultat analytique.

M. Laugier trouva ensuite une méthode de préparer du nickel absolument privé de cobalt, en évaporant lentement une dissolution ammoniacale des oxalates de nickel et de cobalt. L'oxalate de nickel se dépose, et celui de cobalt reste dissous en forme d'oxalate double de cobalt et d'ammoniaque. Mais ce procédé, comme M. Laugier l'observe, ne peut point être employé dans une analyse.

M. Thomson propose, pour obtenir du nickel pur, de dissoudre la mine de ce métal par un mélange d'acide sulfurique et d'acide nitrique qui laisse la plus grande partie de l'acide arsénieux non dissoute; de filtrer, d'ajouter de la potasse, et de faire ensuite cristalliser le sulfate double de nickel et de potasse. Par cette méthode, on sépare l'arsenic; car les cristaux n'en contiennent point. Mais si la mine contient du cobalt, du zinc, du cuivre, ces métaux forment aussi avec la potasse des sels doubles que la cristallisation ne sépare point de celui de nickel. Au reste, la méthode de Thomson ne serait pas non plus applicable dans une analyse.

C'est surtout à M. Stromeyer que nous devons la connaissance de la composition des mines de nickel. C'est encore lui qui nous a informé que le wodanium et le vestium ne sont point des métaux particuliers; mais jusqu'à présent il n'a point, du moins autant que je sache, décrit la méthode analytique par laquelle il a obtenu ces résultats. Cette circonstance est cependant très-importante; car sans elle la probabilité du résultat dépend entièrement de la confiance que l'on croit pouvoir accorder à l'auteur.

M. Berthier nous a donné des analyses d'un arséniure et d'un arséniate de nickel. Nous lui devons une très-bonne méthode pour déterminer la quantité d'acide arsénique dans une dissolution privée de bases insolubles. Elle consiste à faire dissoudre un poids donné de fer dans de l'acide nitrique; on verse cette dissolution dans le liquide dont on veut séparer l'acide arsénique, et l'on précipite moyennant l'ammoniaque. Le précipité formé est du sous-arséniate de fer, qui, poussé au feu et pesé, donne la quantité d'acide arsénique, vu que la quantité d'oxide de fer y est connue.

M. Pfaff, à Kiel, vient d'examiner tout nouvellement la même mine de nickel, qui fait l'objet principal de ce Mémoire. Les observations que j'ai déjà faites sur les anciennes méthodes d'analyser ces mines sont en grande partie applicables à celle choisie par M. Pfaff, et que je considère comme inutile de décrire ici. Il trouva cette mine composée de :

Nickel,	24.42;
Arsenic,	45.90;
Fer,	10.46;
Soufre,	12.36;
Perte,	6,86.

Cette mine de nickel excita ma curiosité, il y a déjà quelque temps, lorsque j'examinais divers minéraux pour y découvrir du sélénium. Le soufre qu'elle contient me fit voir qu'elle diffère entièrement du nickel arsénical, et je me proposai d'en faire l'analyse à une occasion future. En attendant, M. Pfaff en publia une analyse qui aurait dû rendre superflu tout examen ulté-

rieur, s'il n'y avait eu une perte si considérable. Quelques phénomènes que j'observai lors de mes premières expériences m'engagèrent à reprendre cette analyse, et la difficulté d'obtenir un résultat satisfaisant m'entraîna dans des recherches nombreuses.

2. *Examen de quelques substances que l'on obtient dans les analyses des mines de nickel.*

Arséniate de fer. L'oxide rouge de fer, combiné avec les acides arsénieux et arsénique, est soluble dans l'ammoniaque caustique, et donne au liquide une couleur rouge. Si le liquide contient en même temps des acides sulfurique et nitrique, il dépose, après quelques jours, une poudre jaune qui se dissout dans l'eau lorsqu'on veut la laver sur le filtre. Si l'on fait évaporer une dissolution d'arséniate de peroxide de fer dans de l'acide nitrique jusqu'à ce que la plus grande partie de l'acide nitrique soit volatilisée, on obtient une poudre blanche, insoluble dans l'eau, qui est l'arséniate neutre du peroxide de fer. Chauffé à une température à peine lumineuse, il perd 17.68 centièmes d'eau, et devient rouge; mais si on pousse le feu jusqu'au rouge, il paraît prendre feu pour un moment et redevient blanc-jaunâtre. L'eau y contient deux fois l'oxigène de la base. Si avant de sécher cet arséniate, on verse dessus de l'ammoniaque caustique, il s'y dissout promptement. L'arséniate sec demande quelque digestion pour se dissoudre. La dissolution rouge, laissée à elle-même, s'évapore, perd son excès d'ammoniaque, mais ne laisse rien déposer, et finit par former une masse rouge, transparente et fendillée. Cette masse est un sous-arséniate double de per-

oxide de fer et d'ammoniaque. Chauffée dans un appareil convenable, elle donne d'abord beaucoup d'ammoniaque et un peu d'eau; mais au moment où la masse commence à rougir, il se dégage à la fois de l'eau, du gaz azote et de l'acide arsénieux qui se sublime. Le résidu acquiert une couleur verdâtre et paraît être un *arsenias-ferroso-ferricus*. Le sous-sel double en question se dissout dans l'eau mêlée avec un peu d'ammoniaque; mais l'eau pure le décompose, et se charge d'arséniate d'ammoniaque, ainsi que d'un peu de sous-arséniate double non décomposé, en laissant pour résidu un sous arséniate de peroxide de fer.

Le sous-arséniate de fer n'est point soluble dans l'ammoniaque, même si on le fait dissoudre d'abord par un acide, et si à cette dissolution on ajoute de l'ammoniaque. Par conséquent, lorsque, dans une solution qui contient du peroxide de fer et de l'acide arsénique, ce dernier ne suffit que pour former un sous-arséniate de peroxide, une addition d'ammoniaque ne produit aucune trace de sous-arséniate double soluble; mais chaque portion d'acide arsénique qu'on y ajoute en sus rend une certaine quantité de peroxide soluble dans l'ammoniaque. Le sous-arséniate de peroxide de fer qui contient le plus petit excès de base est déjà insoluble dans l'ammoniaque, et c'est celui qui se forme par l'oxidation de l'arséniate neutre du protoxide, savoir : $\overset{\cdots}{Fe}\overset{\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot}{As}$. Par conséquent, si l'on dissout l'arséniate neutre de protoxide dans l'acide nitro-muriatique, et si l'on y verse de l'ammoniaque en excès, tout l'acide arsénique et tout le peroxide de fer se précipitent.

La potasse caustique, même dans un très-grand excès,

ne décompose point complètement l'arséniate de peroxide de fer. J'ai fait digérer une même portion de ce dernier à deux reprises, avec de fortes lessives de potasse caustique, qui ont laissé une substance parfaitement ressemblante à du peroxide de fer. Séchée à la température de l'eau bouillante, et ensuite chauffée à rouge, elle perdit 0.134 de son poids d'eau. Les 0.866 restans ont été dissous par de l'acide muriatique et précipités moyennant de l'hydro-sulfure d'ammoniaque. Le sulfure de fer, bien lavé, fut dissous par de l'acide nitrique. Précipité par de l'ammoniaque, il donna 0.796 de peroxide de fer. L'acide arsénique pesait donc 0.07. L'oxide de fer contient 24.4 p. d'oxigène; l'eau en contient 12 p., et l'acide arsénique 2.43 p. Par conséquent ces quantités sont entre elles comme 1, 5 et 10. Cette substance, si elle n'est point un mélange, est donc composée de sous-arséniate avec eau de combinaison, et d'hydrate de peroxide de fer. Elle présente, lorsqu'on la chauffe lentement au rouge, le phénomène d'une combustion apparente bien plus vive que la plupart des autres substances chez lesquelles je l'ai jusqu'ici observée.

L'arséniate et l'arsénite de protoxide de fer sont aussi solubles dans l'ammoniaque, mais moins que ceux du peroxide. La dissolution, exposée à l'air, prend une couleur verdâtre.

L'*arséniate de nickel* se dissout dans l'ammoniaque en quelque proportion que l'acide arsénique y soit combiné. Mais si dans une dissolution d'arséniate de nickel il y a du peroxide de fer, et si l'acide arsénique ne suffit point pour former des sels neutres avec les deux oxides, l'ammoniaque en précipite, non-seulement du sous-

arséniate de fer, mais aussi du sous-arséniate de nickel, en forme d'un sous-sel double doué d'une couleur vert d'olive. Si l'acide arsénique ne suffit pas pour former le sous-sel double, il se forme un mélange de sous-arséniate de fer avec le sous-sel double, et, dans ce cas, le précipité prend plus ou moins la couleur de l'oxide de fer.

Si l'arséniate de nickel ne contient point d'oxide de fer (protoxide ou peroxide), il se laisse entièrement décomposer par la potasse caustique, surtout si on le fait dissoudre d'abord dans l'ammoniaque, et si on y verse ensuite la dissolution de potasse. Une combinaison d'oxide de nickel et de potasse se précipite, et l'acide arsénique reste, dans la dissolution, combiné avec les alcalis. Si, au contraire, le liquide contient du fer, le précipité contient de l'arsenic.

Une solution d'arséniate de fer et de nickel, saturée avec un alcali presqu'au point de commencer à donner un précipité, et ensuite mêlée avec une solution d'acétate de plomb, laisse tomber de l'arséniate de plomb et de l'arséniate de fer, jusqu'à ce qu'il n'en reste plus dans le liquide. Cette circonstance est due à ce que l'affinité de l'acide arsénique pour l'oxide de plomb surpasse tellement celle de l'acide acétique, qu'il se forme un sous-arséniate de plomb au milieu du liquide qui contient de l'acide acétique en excès. Le sous-arséniate de fer n'y étant point soluble, il se précipite en même temps; car les acides plus forts s'emparent de l'oxide de plomb, et l'acide acétique devient enfin le seul acide libre dans le liquide. La solution qui contient les oxides de nickel et de plomb, mêlée avec du sulfate de soude, laisse dé-

poser la plus grande partie de l'oxide de plomb ajouté en excès, mais non pas tout. Si l'on y verse ensuite un excès d'ammoniaque, il se forme un précipité grisâtre, composé d'oxide de plomb et d'oxide de nickel. Pour séparer les derniers restes de plomb, il faut employer le gaz hydrogène sulfuré.

L'oxide de nickel ne se laisse point séparer de l'acide arsénique moyennant l'hydro-sulfure d'ammoniaque; car le précipité produit par ce dernier est soluble tant dans un excès d'hydro-sulfure que dans l'ammoniaque caustique. La dissolution a une couleur brun-jaunâtre très-foncée : un peu concentrée, elle est privée de toute transparence. Les acides la précipitent, mais le précipité contient de l'arsenic, et ordinairement une petite quantité de sulfure de nickel se redissout par l'acide, même lorsque celui-ci n'est que de l'acide acétique. Si on fait évaporer une dissolution ammoniacale de ce sulfure, contenant en même temps de l'acide arsénique, une partie du sulfure se dépose en forme d'arséniure sulfuré de nickel (c'est-à-dire, une combinaison de sulfure et d'arséniure de nickel), et une autre partie se réoxide à mesure que l'ammoniaque s'évapore et donne naissance à une dissolution de nickel. L'arséniure sulfuré de nickel est insoluble tant dans l'acide muriatique que dans l'ammoniaque. Le cobalt diffère du nickel en ce qu'il se laisse parfaitement bien précipiter par les hydro-sulfures, sans que l'excès de ces derniers le redissolve.

Oxide de nickel et d'autres bases salifiables. L'on sait que l'oxide de nickel se dissout complètement dans l'ammoniaque. Cette dissolution doit être considérée

comme formant un sous-sel double; cependant l'hydrate de nickel est soluble dans l'ammoniaque, quoique dans une beaucoup plus petite quantité que l'oxide combiné avec un acide. La même affinité qui détermine la solubilité de l'oxide de nickel dans l'ammoniaque existe entre lui et les autres bases, quoique les combinaisons avec ces dernières soient insolubles dans l'eau. Par conséquent, lorsqu'on mêle une dissolution de nickel avec une dissolution d'une autre base insoluble, l'ammoniaque y détermine un précipité qui contient du nickel, et duquel un excès d'ammoniaque ne peut point extraire ce métal.

Dans ce cas, l'oxide de nickel se partage entre les deux bases, envers lesquelles le plus souvent il joue le rôle d'acide ou de corps électro-négatif. C'est de cette manière qu'il se précipite avec les terres alcalines, les protoxides de fer, de manganèse, de plomb, etc. Mais avec le peroxide de fer et avec l'alumine il se précipite sous forme de base ou corps électro-positif, et par cette raison ces derniers en contiennent beaucoup moins que les premiers. Si l'oxide de nickel contient des petites quantités d'une autre base, il devient fort souvent difficile de découvrir quelle est cette base. La baryte, la strontiane et la chaux se manifestent lorsqu'on mêle une solution concentrée d'oxide avec du carbonate ou du sulfate d'ammoniaque, qui précipitent les terres et forment des sels doubles solubles avec l'oxide. Pour le séparer de la magnésie, on ne peut point se servir du phosphate d'ammoniaque; car bien que le phosphate de nickel soit soluble en toute proportion dans l'ammoniaque, il se précipite cependant avec celui de magnésie, sans que l'on puisse l'extraire avec de l'ammoniaque ajoutée en très-

grand excès. Je ne sais d'autre méthode pour les séparer, que de précipiter l'oxide de nickel de leur solution commune par de l'hyrosulfure d'ammoniaque, et de décomposer tout de suite l'excès ajouté du dernier par quelques gouttes d'acide acétique et de filtrer. La magnésie reste dans la solution et peut en être séparée de la manière ordinaire; mais, en général, il faut se préparer à des méthodes différentes pour chaque base avec laquelle l'oxide de nickel peut être mélangé.

Il s'ensuit de tout cela qu'on ne peut point se servir de la solubilité de l'oxide de nickel dans l'ammoniaque pour le séparer entièrement des substances étrangères, insolubles dans cet alcali; car la partie non dissoute ou précipitée retient toujours plus ou moins d'oxide de nickel.

La combinaison de l'oxide de nickel avec la potasse caustique me paraît être la plus remarquable de toutes celles qu'il forme avec les bases salifiables. Lorsque dans une dissolution de nickel sur-saturée d'ammoniaque, on verse peu à peu une dissolution de potasse caustique, on voit paraître un précipité blanchâtre qui se redissout de nouveau, mais qui enfin se reproduit et ne disparaît plus: quand la potasse ne trouble plus le liquide, celui-ci est devenu incolore, et un sédiment verdâtre s'y dépose lentement. A cette occasion, l'oxide de nickel se combine avec la potasse et devient insoluble. La dissolution des premières portions du précipité formé est due à leur décomposition par les sels ammoniacaux; mais au moment où ces derniers sont décomposés, le précipité reste non dissous. Le précipité est insoluble dans l'ammoniaque. Pris sur le filtre, il forme une masse mi-gélatineuse, dif-

ficile à laver. S'il y a de la chaux dans le liquide, le précipité est moins cohérent et plus facile à édulcorer; mais il contient alors toute la chaux restée dans la dissolution. L'eau bouillante pénètre beaucoup mieux le *niccolate* de potasse (*sit venia verbo*); mais elle le décompose aussi et en extrait la potasse; et lorsque la liqueur qui passe par le filtre, évaporée à sec, ne laisse plus de résidu, l'oxide lavé est de l'hydrate de nickel sans trace de potasse. Si, au contraire, il y avait une terre alcaline, elle resterait combinée avec l'oxide.

Il était assez difficile de déterminer si l'oxide ainsi obtenu contient de l'alcali ou non. Croyant d'abord que l'oxide lavé gardait encore la potasse précipitée avec lui, je voulus l'analyser pour déterminer la quantité de potasse retenue; mais toutes les méthodes par la voie humide échouèrent complètement. Il ne me restait donc que de réduire l'oxide moyennant le gaz hydrogène, comme je l'avais fait avec les oxides de plomb et de cuivre. 100 p. d'oxide de nickel, chauffées à rouge avant l'expérience, m'ont donné 78.8 p. de nickel, qui, longtemps digéré avec de l'eau, ne lui a point communiqué la propriété de réagir comme un alcali; ou, s'il y avait une réaction, elle était à peine perceptible : or, nous savons par d'autres expériences que 100 p. d'oxide de nickel doivent contenir 78.71 p. de nickel. Il est donc évident que l'oxide ne contenait point de potasse. Dans une autre expérience, j'ai obtenu de 100 p. d'oxide de nickel 79.7 p. de nickel; mais ce nickel donna à l'eau la propriété de réagir comme un alcali : cette eau se troubla dans l'air et par l'acide oxalique; c'était donc de l'eau de chaux. Cet oxide dérivait d'une analyse où

je n'avais point séparé de la mine les traces de carbonate de chaux qu'elle contient souvent.

Les bases solubles par l'ammoniaque partagent les autres propriétés de l'oxide de nickel à un tel degré qu'elles sont souvent très-difficiles à découvrir, surtout lorsque leur quantité est petite. Ces bases sont les oxides de cobalt, de cuivre et de zinc.

Oxides de nickel et de cobalt. J'ai dit plus haut que M. Philips nous a appris à séparer ces deux oxides, moyennant la potasse caustique. Pour que cela réussisse, il faut que la dissolution ammoniacale soit très-étendue, et que l'eau avec laquelle on la délaie soit privée d'air atmosphérique par une ébullition continuée ; car l'addition de la potasse donne à l'oxide de cobalt dissous une grande propension à se suroxider, qui paraît dépendre de ce que la potasse s'étant emparée des acides, l'oxide de cobalt n'est plus retenu en dissolution que par l'ammoniaque seule ; au lieu qu'auparavant il y était dissous sous forme d'un sous-sel double, à base d'ammoniaque et d'oxide de cobalt. Si le liquide contient de l'air atmosphérique, l'oxide de cobalt s'unit à son oxigène, et l'oxide de nickel entraîne avec lui le suroxide formé. Plus la solution est concentrée, plus l'oxide de cobalt tend à se suroxider, et se dépose alors souvent pendant la filtration. Il est donc plus facile de séparer beaucoup de nickel d'un peu de cobalt que l'inverse, quoiqu'en tout cas la quantité d'oxide de cobalt ainsi entraîné soit trop peu considérable pour altérer d'une manière marquante le résultat d'une analyse, surtout les deux oxides ayant la même capacité de saturation, et, par conséquent, la constitution chimique de la combinaison se

laissant également apercevoir. Si l'oxide de nickel précipité par la potasse contient du cobalt, il brunit lorsqu'on verse dessus un acide très-étendu, car le suroxide de cobalt se dissout bien plus lentement que l'oxide de nickel. On le découvre aussi moyennant le chalumeau, si on traite l'oxide de nickel avec du borax, jusqu'à ce que le nickel soit réduit, et que la couleur rouge qu'il donne au verre soit disparue. S'il contient du cobalt, ce dernier se manifeste alors par une couleur bleue plus ou moins bien perceptible. Je crois que, par la méthode de M. Philips, on peut réussir à séparer complètement ces deux oxides, surtout si l'on observe les précautions que je viens d'indiquer plus haut.

L'oxide de cobalt resté dans la liqueur ammoniacale lui communique une couleur rose. En faisant évaporer la dissolution, l'oxide se dépose en flocons bruns, et peut être recueilli sur le filtre. Si la mine examinée contient de la silice dans un tel état qu'elle a pu se dissoudre, elle se précipite à présent avec le suroxide de cobalt.

Oxides de nickel et de cuivre. Je ne saurais déterminer si l'oxide de cuivre est soluble dans l'ammoniaque ou non. Ce qu'il y a de certain, c'est que tout ce que l'on considère en général comme des dissolutions d'oxide de cuivre dans l'ammoniaque sont des sels doubles avec excès de base. J'ai fait digérer de l'oxide de cuivre avec de l'ammoniaque concentrée pendant huit jours dans un flacon bouché à l'émeri. Le liquide se colora, après quarante-huit heures, d'une légère teinte de bleu, qui n'augmenta plus. Une goutte de carbonate d'ammoniaque que je fis tomber dans la liqueur dissolvit à l'instant une partie de

l'oxide, et rendit la couche inférieure du liquide d'un bleu foncé.

Lorsqu'on mêle une dissolution ammoniacale d'oxide de cuivre avec de la potasse caustique, l'oxide de cuivre se précipite après quelques momens, et si la quantité de potasse est suffisante, il se dépose entièrement en forme d'un hydrate bleu, très-facile à laver. Bien lavé, il est $\ddot{C}u\ Aq^2$; il ne retient point de trace de potasse. Pour que l'oxide de cuivre soit parfaitement précipité de sa dissolution ammoniacale, il faut employer bien plus de potasse caustique que pour en séparer l'oxide de nickel; circonstance qui probablement est due à ce que le cuprate de potasse ne se forme que dans un liquide saturé à un certain degré d'hydrate de potasse; il se décompose plus facilement par l'eau que le niccolate.

J'ai essayé de tirer parti de ces propriétés de l'oxide, de cuivre, pour déterminer la quantité du cuivre dans des expériences analytiques. La méthode que l'on a toujours employée de précipiter le cuivre métallique par le fer est très-mauvaise, et donne toujours des résultats inexacts; car, d'un côté, le cuivre se mêle toujours avec du carbure de fer, qui, sous forme d'une poudre noire, se sépare du fer précipitant à mesure que celui-ci se dissout, et de l'autre, le métal réduit peut rarement être séché sans qu'il ne soit considérablement oxidulé. Veut-on précipiter l'oxide de cuivre par un carbonate d'alcali? toujours cet alcali ajouté en excès dissout une petite quantité de carbonate de cuivre. On peut obtenir ce dernier, il est vrai, si l'on évapore la dissolution à sec, et si l'on chauffe le résidu à rouge. Alors le carbonate de cuivre se décompose, et l'eau le sépare du sous-carbonate alcalin. Mais, à cette

occasion, l'oxide de cuivre s'étend sur les parois du creuset en forme d'un vernis très-adhérent. Il faut peser le creuset une fois seul et l'autre fois avec l'oxide de cuivre, qu'on n'en peut ôter que par un acide. Aucun de ces moyens n'est donc bien convenable. J'ai trouvé que la méthode de séparer l'oxide de cuivre de sa dissolution ammoniacale par la potasse caustique, donne un résultat bien plus exact que les précédentes. La séparation n'est cependant pas absolue; car le liquide ammoniacal filtré brunit un peu avec de l'hydro-sulfure d'ammoniaque, et dépose, après quelques jours, des flocons noirs qui, dans mes expériences, ont été si peu considérables que je n'ai point pu les peser avec certitude. J'ai aussi essayé de précipiter le cuivre de ses dissolutions moyennant l'hydrogène sulfuré, et de peser le bi-sulfure séché; mais il m'a toujours donné au moins 3 ou 4 centièmes du poids de l'oxide de cuivre employé de trop, parce que le bi-sulfure de cuivre devient acide par la dessiccation, tout comme cela a lieu avec les sulfures analogues de rhodium et de platine. Distillé dans un petit appareil, pour chasser le soufre excédant, ainsi que l'acide sulfurique et l'humidité, le proto-sulfure restant donne la quantité du cuivre moins inexacte.

Mais retournons au mélange de l'oxide de cuivre avec l'oxide de nickel. Ce que je viens de dire sur l'analogie de ces deux oxides prouve que l'oxide de nickel, précipité par la potasse caustique d'une solution qui contient du cuivre, doit contenir de l'oxide de ce dernier métal, dont cependant une partie reste encore dissoute dans l'ammoniaque, si on n'y ajoute pas un grand excès de potasse. Il est cependant très-facile de séparer le cuivre

du nickel par l'hydrogène sulfuré, qui précipite le premier d'une solution acide, sans agir sur le dernier.

Oxides de nickel et de zinc. L'oxide de zinc dissous par l'ammoniaque se précipite également par une addition de potasse caustique ; mais il se précipite plus tard que l'oxide de nickel, et demande plus de potasse. On découvre sa présence dans l'oxide de nickel en réduisant celui-ci, moyennant la soude, à la flamme du chalumeau. S'il contient du zinc, le charbon se couvre d'une pellicule blanche d'oxide de zinc ; mais il faut, pour cela, chauffer fortement. Dans une analyse d'un mélange métallique que j'ai faite il y a très-long-temps, j'essayai de séparer ces deux oxides, en chauffant légèrement leurs nitrates jusqu'à sur-oxider le nickel. Je versai ensuite dessus de l'acide nitrique faible qui dissolvit le sous-nitrate de zinc, laissant le sur-oxide de nickel intact. Cette expérience est difficile à faire ; car trop ou trop peu de chaleur altère le résultat, et la séparation n'est jamais complète, même quand elle réussit bien. Une autre méthode s'est présentée ensuite. On met le mélange des deux oxides dans une boule soufflée au milieu d'un tube de verre, par lequel on conduit un courant de gaz acide muriatique sec. On chauffe la boule à la flamme d'une lampe à esprit-de-vin, les oxides se combinent avec l'acide muriatique, et l'eau, ainsi que le muriate de zinc, distillent et peuvent être reçus dans une fiole qui contient de l'eau. Le muriate de nickel étant beaucoup moins volatil que celui de zinc, reste dans la boule. Si avant de commencer l'expérience, on pèse la boule d'abord vide, et ensuite, après y avoir mis l'oxide, on n'a besoin que de la peser avec le muriate de nickel pour avoir le poids relatif des deux oxides ; mais on

peut aussi précipiter le muriate de zinc par du sous-carbonate de soude, et déterminer directement le poids de ce dernier oxide.

3. *Analyse d'une mine blanche de nickel de Loos, en Nelsingland.*

Cette mine de nickel n'est point cristallisée ; elle forme une masse métallique blanche, brillante, d'un tissu granulaire. On en a deux variétés, très-difficiles à distinguer l'une de l'autre. Dans l'une de ces variétés, les grains sont plus arrondis ; elle décrépite au feu avec une extrême violence ; chauffée dans un tube de verre fermé par un bout, elle laisse pour résidu une masse ressemblant à du kupfernickel, et une portion de sulfure d'arsenic se sublime. L'autre variété est aussi grenue, mais les grains sont moins égaux, le tissu devient par-ci par-là compacte ; alors elle a l'apparence d'une mine de cobalt, elle décrépite moins, et donne par la distillation du sulfure d'arsenic et laisse un résidu blanc d'argent.

Il paraît que c'est la première de ces variétés qui a été examinée par M. Pfaff. Les deux premières des analyses que je vais décrire ici ont été faites sur la première variété, et les suivantes sur la seconde, comme on peut le voir par les résultats.

A. *Analyse moyennant l'acide nitrique.*

a. 4 grammes de la mine pulvérisée ont été traités par de l'acide nitrique pur, jusqu'à ce que la partie non dissoute parût n'être que du soufre. Le résidu pesait 0.138 gr. On fit brûler le soufre, qui laissa 0,027 gr. de silice, ou du moins d'une poudre pierreuse. Le poids du soufre brûlé était donc 0,111 gr.

b. La dissolution précipitée par du muriate de baryte

donna 2.877 gr. de sulfate de baryte, équivalens à 0,396 de soufre, ce qui, ajouté aux 0.111 trouvés auparavant, fait une totalité de 0.507 gr., ou 12.675 centièmes du poids de la mine.

c. La baryte, ajoutée en excès, a été séparée du liquide par l'acide sulfurique; on a ensuite fait passer un courant de gaz hydrogène sulfuré dans la solution, aussi long-temps qu'il s'est formé du sulfure d'arsenic. On a lavé ce dernier sur un filtre taré, on l'a séché fortement, et on l'a pesé renfermé dans un creuset de platine couvert, pour empêcher la masse d'attirer de l'humidité pendant son refroidissement. Elle pesait 3.687 gr. On l'a ensuite traitée avec de l'ammoniaque caustique sur le même filtre. L'ammoniaque a dissous le sulfure d'arsenic, laissant pour résidu le soufre séparé de l'hydrogène sulfuré, tant par l'air atmosphérique, peu à peu, pendant l'expérience, que par le peroxide de fer du liquide, qui fut réduit à l'état de protoxide. Ce soufre était blanc, et pesait, fortement séché, 0.117 gr. Les 3.687 gr. ne contenaient donc que 3.57 gr. de sulfure d'arsenic, équivalens à 2.175 gr. d'arsenic métallique. Cela fait 54.38 centièmes du poids de la mine.

d. Le liquide, privé d'arsenic, fut chauffé pour réoxider le protoxide de fer; on y versa ensuite de l'ammoniaque en grand excès. Elle y détermina un précipité vert d'olive. On sépara le dernier, on le fit dissoudre par de l'acide muriatique, on neutralisa cette solution aussi bien que possible, et on précipita le fer par du succinate d'ammoniaque. Le succinate de fer, décomposé par le feu dans un vaisseau ouvert, donna 0.183 gr. d'oxide de fer, qui, traité par la soude au chalumeau, sentait fortement l'arsenic.

e. On mélangea le liquide ammoniacal avec celui d'où le fer avait été précipité par le succinate d'ammoniaque; on y versa du sous-carbonate de potasse, et on fit évaporer l'ammoniaque. L'oxide de nickel, ainsi séparé, pesait 1.532 gr.

f. Cet oxide repris par de l'acide muriatique, on évapora la solution à sec, et on fit redissoudre le résidu dans l'eau, qui laissa non dissoute une poudre blanche; cette poudre était de l'arséniate de peroxide de fer qui, poussé au feu, pesait 0,1 gr., équivalent à 0.044 gr. d'arsenic métallique, et à 0.0215 gr. de fer. La quantité obtenue d'oxide de nickel pur n'était donc que 1.432 gr., équivalens à 1.127 gr. de nickel métallique. Dans ce que je considère ici comme du nickel pur, il y avait cependant une petite quantité de chaux qui se manifesta lorsqu'à la solution du muriate neutre de nickel on ajouta un excès de sous-carbonate d'ammoniaque; mais la quantité de carbonate de chaux précipité était trop peu considérable pour être séparée et pesée.

L'analyse avait donc fourni :

Arsenic	*c. f.*	55.50;
Soufre	*a. b.*	12.67;
Nickel	*f.*	28.17;
Fer	*d. f.*	3.63;
Substances pierreuses,		0.61.
	Total,	100.58.

L'excès donné par cette analyse est sans doute dû à ce que le sulfure d'arsenic n'a pu être entièrement privé d'humidité hygroscopique, au moment où on le pesait. Cet inconvénient serait cependant facile à évi-

ter en faisant fondre le sulfure dans le vide, si lors de la dissolution de la mine, on pouvait prévenir qu'une petite quantité d'acide arsenique ne se formât par l'action de l'acide nitrique sur l'arséniure; cette dernière circonstance rend la méthode employée dans l'analyse décrite tout-à-fait inapplicable; car il ne s'agit point d'approximations, mais de résultats autant que possible exacts.

B. *Analyse moyennant l'acide nitro-muriatique.*

La chaux trouvée dans l'analyse précédente me fit soupçonner un mélange de carbonate de chaux avec la mine. Dans les analyses suivantes, je me suis servi d'une mine de nickel pulvérisée et macérée avec de l'acide muriatique faible jusqu'à ce que le carbonate de chaux fût entièrement extrait.

a. 1 gramme de mine de nickel, dissous par de l'acide nitro-muriatique, a laissé 0.055 gr. de résidu : c'était du soufre qui a brûlé sans résidu. La solution a fourni 0.65 gr. de sulfate de baryte, équivalens à 0.897 gr. ou à 0.144 de soufre.

b. Le liquide a été privé de la baryte excédante moyennant de l'acide sulfurique. Il a ensuite été précipité par de la potasse caustique ajoutée en grand excès. Le précipité, bien lavé, a été repris par de l'acide muriatique, et cette dissolution a été mélangée avec de l'ammoniaque caustique jusqu'à ce que l'oxide de nickel fût dissous. L'ammoniaque laissa non dissous 0.098 gr. de sous-arséniate de fer. Ce dernier, repris par l'acide muriatique concentré, s'y dissolvit sans trace de couleur verte, qui ndique même de très-petites quantités de nickel ou

de cobalt, lorsque l'acide est concentré. La dissolution du sous-arséniate fut décomposée par de la potasse caustique, qui laissa 0.082 gr. de sous-arséniate, dont j'ai fait mention plus haut. La potasse s'était donc emparée de 0.016 gr. d'acide arsénique. Les 0.082 gr. de sous-arséniate produit par la potasse, contiennent 0.0764 gr. d'oxide de fer, et par conséquent les 0.098 gr. sont équivalens à 0.0116 gr. d'arsenic métallique et à 0.0529 gr. de fer.

c. Le liquide ammoniacal, précipité par de la potasse caustique, a fourni 0.344 gr. d'oxide de nickel, équivalens à 0.27 gr. de métal. La liqueur, séparée de l'oxide de nickel, a été évaporée jusqu'à la volatilisation complète de l'ammoniaque, sans rien déposer. Elle fut ensuite mêlée avec le liquide alcalin, résultant de la précipitation de l'oxide de nickel conjointement avec le sous-arséniate de fer. Le mélange de ces deux liquides contenait à présent l'acide arsénique. Il a été neutralisé par de l'acide muriatique.

d. Pour séparer l'acide arsénique, je me suis servi de la méthode de M. Berthier. J'ai fait dissoudre 1 gramme de fer métallique (fil de fer ordinaire) par de l'acide nitrique; j'ai versé cette solution dans la précédente, et précipité par de l'ammoniaque en excès. Le précipité, bien lavé et chauffé à rouge, pesait 2.24 gr. Or, 1 gr. de fer métallique qui, à l'ordinaire, contient 0.0005 de son poids de carbone, donne 1.435 gr. de peroxide. En défalquant ces 1.435 des 2.240, il reste pour l'acide arsénique 0,805 gr., qui doivent être ajoutés aux 0.0116 obtenus en *b*), ce qui fait une totalité de 0.8166,

équivalens à 0.5332 gr. d'arsenic métallique. L'analyse a donc donné :

Arsenic,	53.32 ;
Soufre,	14.40 ;
Nickel,	27.00 ;
Fer,	5.29.
	100.01.

La différence entre les deux analyses est peu considérable, et montre toutefois que les méthodes analytiques sont approximatives à un très-haut degré ; surtout si l'on considère que le soufre, déterminé dans les deux expériences de la même manière, varie en proportions, et paraît par conséquent indiquer que la mine varie en composition. Cependant, aussi long-temps que l'acide arsénique n'a point pu être entièrement séparé du peroxide de fer, le résultat est toujours sujet à des incertitudes par rapport aux quantités relatives du fer et de l'arsenic.

C. *Analyse par l'acide nitro-muriatique et par l'acétate de plomb.*

Cette analyse, ainsi que la suivante, ont éte faites sur des morceaux tirés d'un autre échantillon venant aussi de Loos, mais, comme j'ai dit plus haut, étant une autre ariété de la mine de nickel.

a. 1.51 gr. de cette mine pulvérisée (et antérieurement privée de carbonate de chaux) ont été dissous dans de l'acide nitro-muriatique, qui a laissé 0.056 de

résidu, dont 0.04 étaient du soufre et 0.016 une poudre siliceuse.

b. La dissolution précipitée par du muriate de baryte a fourni 1.818 gr. de sulfate de baryte, équivalens à 0.2500 gr. de soufre, dont la totalité fait par conséquent 0.2908, c'est-à-dire, 19.29 centièmes du poids de la mine.

c. Le liquide filtré a été saturé par de l'ammoniaque jusqu'à ce qu'un précipité commençât à se montrer; on y a versé alors de l'acétate de plomb aussi long-temps qu'il se formait un précipité. Ce dernier a été lavé par de l'eau bouillante, et comme, après une édulcoration long-temps continuée, l'eau de lavage continua toujours à réagir avec du nitrate d'argent, je le séchai sans tâcher de le priver entièrement de son muriate de plomb. Poussé au feu, il devint jaune et pesait 4.55 gr.

J'en ai fait dissoudre 4.253 gr. dans de l'acide nitrique étendu, qui a laissé non dissous 0.058 gr. d'oxide de fer rouge, qui exhalait l'odeur d'arsenic au chalumeau. La dissolution, mêlée d'abord avec du sulfate de soude, a donné 4.073 gr. de sulfate de plomb, et ensuite avec du nitrate d'argent 0.377 gr. de muriate d'argent. Le liquide a été privé du nitrate d'argent superflu par une addition d'acide muriatique, ensuite filtré et évaporé à sec. La masse sèche, reprise par l'eau, a laissé non dissoute une poudre blanche qui pesait 0.125 gr. : c'était de l'arséniate de plomb. Le liquide, neutralisé aussi exactement que possible avec de la potasse caustique, déposa une substance légère et blanchâtre qui pesait 0,01 gr. : c'était de l'arséniate de fer neutre. Ces quantités ont été obtenues des 4.253 gr. dissous par l'acide nitrique;

calculées pour les 4.55 gr., poids total du précipité obtenu par l'acétate de plomb, on a les quantités suivantes :

Sulfate de plomb,	4.358 =	3.206 gr.	d'oxide de plomb ;
Muriate d'argent,	0.403 =	0.077	d'acide muriatiq. ;
Arséniate de plomb,	0.134 =	0.089	d'oxide de plomb ;
Arséniate de fer,	0.011 =	0.003	d'oxide de fer ;
Oxide de fer..........	=	0.062.	
Total,		3.437.	

Ces 3.437 gr. doivent être défalqués des 4.55 gr. du précipité sus-mentionné pour avoir le poids de l'acide arsénique, qui est de 1.113, et qui correspond à 0.7268 gr. d'arsenic métallique.

On ne doit pas s'attendre qu'un résultat obtenu par tant de détours puisse être exact, parce que si des petites erreurs dans chacune de ces déterminations, par exemple, des petites pertes, s'additionnent ensemble, la somme fera une très-grande inexactitude dans le résultat général. C'est aussi ce qui est arrivé.

d. Le liquide restant après la séparation de l'acide arsénique et de l'oxide de fer par l'acétate de plomb, a été privé de l'excès de l'oxide de plomb par du gaz hydrogène sulfuré, et l'oxide de nickel a été séparé par de la potasse caustique. L'oxide ainsi obtenu pesait 0.592 gr. ; ce qui fait 30.8 centièmes du poids de la mine en nickel métallique.

Le résultat général de cette analyse est donc comme il suit :

Arsenic,	48.06;
Soufre,	19.29;
Nickel,	30.80;
Fer,	2.99;
Silice,	1.00.
	102.15.

Comme le résultat d'une expérience si compliquée ne peut point être satisfaisant, j'ai imaginé une autre méthode analytique que voici :

D. *Analyse moyennant le gaz oximuriatique.*

Une portion de la mine pulvérisée, traitée d'avance par de l'acide muriatique faible pour en séparer le carbonate de chaux, a été introduite dans une boule soufflée au milieu d'un morceau de tube de baromètre ; on fit passer par le tube un courant de gaz oximuriatique, séché sur du muriate de chaux fondu, et lorsque la presque totalité de l'air atmosphérique fut chassée, on chauffa la boule par la flamme d'une lampe à esprit-de-vin. Les métaux et le soufre se combinèrent alors avec le gaz oximuriatique ; les acides doubles formés par les acides muriatique, arsénique et hypo-sulfureux, distillèrent en gouttelettes, et furent recueillis dans de l'eau. Les muriates, moins volatils, sont restés dans la boule. L'opération a duré pendant douze heures ; mais le dégagement du gaz oximuriatique a toujours été très-lent.

On a employé 4.5685 gr. de mine.

A. *Examen des muriates restés dans la boule.*

a. On a introduit de l'eau dans la boule. La masse jaunâtre parut d'abord ne pas s'y dissoudre, et l'eau n'a

fait qu'extraire le muriate de fer ; mais après une heure le muriate de nickel s'était aussi dissous, et l'eau laissa un résidu de 1.512 gr. qui était de la mine intacte (1). Le gaz avait donc décomposé 3.0565 gr. La dissolution a été mêlée avec de l'acide nitrique et chauffée à l'ébullition pour porter le fer au *maximum* d'oxidation. Elle a ensuite été neutralisée par de l'ammoniaque et précipitée par du succinate d'ammoniaque. Le succinate de fer brûlé sur une petite capsule de porcelaine découverte a laissé 0.182 gr. de peroxide de fer, qui, traité avec de la soude au chalumeau, n'a donné aucune trace d'odeur d'arsenic. Cette quantité de peroxide équivaut à 0.126 gr. ou à 0.0411 du poids de la mine de fer métallique.

b. Le liquide privé de fer a été mêlé avec de l'ammoniaque en excès. Il a pris une couleur bleue, sans rien déposer. L'oxide de nickel en a été précipité par de la potasse caustique. Il pesait 1.1725 gr. Il fut dissous par de l'acide muriatique, et la dissolution évaporée à sec; la matière sèche, reprise par de l'eau, a laissé 0.01 gr. de silice non dissoute. Le poids de l'oxide de nickel n'a donc été que de 1.1625 gr., équivalens à 0.2995 du poids de la mine de nickel métallique. Un courant de gaz hydrogène sulfuré introduit dans la dissolution du muriate de nickel, y détermina une trace de précipité à peine

(1) Pour m'assurer que la partie non dissoute par l'eau n'était point altérée, je l'ai examinée sous le microscope, où elle se présenta comme des petits fragmens par-ci par-là corrodés. Dissoute par de l'acide nitro-muriatique, elle a donné avec le sulfate de baryte la même quantité de soufre que la partie décomposée par le gaz oximuriatique.

suffisant pour déterminer au chalumeau que c'était du cuivre.

c. Le liquide, précipité en *b*) par la potasse caustique, avait une teinte rose. Il déposa, par l'évaporation, 0.037 gr. d'oxide de cobalt, équivalens à 0.0092 du poids de la mine de cobalt métallique. Ce cobalt contenait un peu de cuivre, que je ne crus point mériter la peine de séparer et de peser à part.

d. Le liquide qui avait déposé l'oxide de cobalt fut sursaturé par de l'acide muriatique, et évaporé à sec. La masse saline, reprise par l'eau, laissa 0.018 gr. de silice. Comme je me servais d'une potasse caustique qui, traitée de cette même manière, ne donnait aucune trace de silice, cette silice a dû dériver de la mine de nickel; mais comme le gaz oximuriatique ne se combine point avec la silice, c'est-à-dire, avec l'oxide de silicium déjà formé, il est très-probable que cette silice s'est trouvée dans la mine sous forme d'arséniure ou de sulfure de silicium.

B. *Examen des Substances volatiles.*

a. Le liquide qui distillait avait une couleur orange très-foncée. Quand les gouttes tombèrent dans l'eau, celle-ci devint laiteuse et déposa du soufre. L'excès de gaz oximuriatique, absorbé continuellement par l'eau, acidifia peu à peu le soufre, de manière qu'à la fin de l'opération il n'en resta que très-peu. Le flacon qui servait comme récipient fut bouché à l'émeri, et placé dans un endroit où la température varia entre 30 et 60°; après quelques heures de digestion, on ôta le bouchon

et on chauffa le liquide jusqu'à ébullition pour en chasser l'excès du gaz oximuriatique. Les flocons de soufre, restés non acidifiés, s'attirèrent mutuellement et formèrent enfin un seul petit morceau qui, après l'expulsion du gaz, a été pris séparément; il pesait 0.055 gr.

b. Le liquide, neutralisé par de la potasse caustique, n'en fut point troublé; preuve qu'aucune partie du muriate de fer n'avait été volatilisée avec les acides. Rendu légèrement acide et mêlé avec du muriate de baryte, il donna 3.892 gr. de sulfate de baryte, équivalens à 0.537 gr. de soufre; ce qui, avec les 0,055 obtenus en *a*), fait une totalité de 0.592 ou 0.1934 du poids de la mine.

c. La meilleure manière d'obtenir l'acide arsénique aurait sans doute été de le précipiter avec du peroxide de fer; mais l'état volumineux du sous-arséniate de fer, et le long lavage qui en est une suite nécessaire, m'engagèrent à essayer encore une fois l'acétate de plomb, dans l'espérance que l'absence du fer rendrait la composition du précipité moins compliquée. Je me trompais cependant, et j'eus à séparer ensuite le plomb par l'acide sulfurique, et l'acide muriatique par le nitrate d'argent. L'acétate de plomb produisit un précipité dont le poids fut de 8. 585 gr. Traité par de l'acide sulfurique, il donna 6.353 gr. d'oxide de plomb, et avec le nitrate d'argent il donna 0.106 gr. d'acide muriatique, qui, défalqués l'un et l'autre des 8.585 gr., laissent 2.126 gr. pour l'acide arsénique, équivalens à 1.388 gr. d'arsenic métallique, ou à 0.4537 du poids de la mine.

L'analyse a donc donné:

Arsenic.....................	45.37 ;
Soufre.....................	19.34 ;
Nickel.....................	29.94 ;
Cobalt avec des traces de cuivre.	0.92 ;
Fer.....................	4.11 ;
Silice.....................	0 90.
	100.58.

Je ne m'arrêterai pas à chercher la cause du poids excédant donné par l'analyse ; ceux qui sont accoutumés à des recherches exactes savent combien il est facile de tomber dans une telle erreur, lorsqu'on fait tout pour ne rien perdre. J'ajouterai seulement que si la silice était dans la mine à l'état de silicium, l'excès deviendrait presque nul.

Quant à la constitution chimique de la mine analysée, il est bien évident qu'elle est analogue à celle du fer arsénical et du cobalt gris, c'est-à-dire qu'elle contient un atome de quadri-sulfure du métal combiné avec un atome de bi-arséniure de ce même métal, $NiS^4 + NiAs^2$. En calculant la composition d'après cette formule, on aura les proportions suivantes :

Arsenic,	45.17 ;
Soufre,	19.32 ;
Nickel,	35.51.

Or, c'est là la composition d'une combinaison qui ne contient ni fer ni cobalt. Mais les trois métaux en question peuvent se trouver, sous forme d'une même espèce de combinaison, mélangés ensemble en différentes proportions, sans que cela influe beaucoup sur les pro-

portions d'arsenic et de soufre, parce que la capacité de saturation du nickel et du cobalt est presque exactement la même, et celle du fer ne la surpasse que de très-peu. Par conséquent, lorsque dans la mine dont nous venons de faire l'analyse, nous ajoutons les poids du cobalt et du fer à celui du nickel, nous avons 34.95 ; ce qui s'accorde fort bien avec le résultat calculé.

La variété qui a fait l'objet des deux premières expériences, et celle examinée par M. Pfaff, n'étaient donc qu'un mélange de nickel arsenical ($Ni\ As^2$) avec cette dernière combinaison, laquelle nous pouvons appeler *nickel gris*, pour indiquer que sa composition est analogue à celle du cobalt gris. M. Pfaff a déduit de ses expériences la formule suivante : $Fe\ S^4 + 2\ Ni\ As^2$.

Il est évident que la quantité d'arsenic trouvée dans le minéral est trop petite pour suffire à former un bi-arséniure avec la totalité du nickel, et la quantité variable du fer indique que le sulfure de ce métal ou son arsénio-sulfure y est mélangé, et non pas combiné en proportion définie, soit avec l'arséniure de nickel, soit avec l'arsénio-sulfure de ce dernier.

4. *Exposé particulier de la méthode d'analyser les arséniures ou les arsénio-sulfures de nickel et de cobalt moyennant le gaz oximuriatique.*

On a vu par ce qui précède, qu'aucune méthode n'a complètement séparé l'arsenic d'avec les autres métaux, excepté celle où la décomposition a été faite moyennant le gaz oximuriatique ; et malgré que chacune des autres méthodes ait donné une approximation aux vrais rap-

ports, on ne peut cependant point les considérer comme bonnes, puisque chaque expérience qui laisse des doutes chez l'opérateur ne peut pas être considérée comme concluante, si elle n'a point été confirmée par une autre moins douteuse; mais alors il vaut mieux se servir tout de suite de la méthode la plus sûre.

Je vais, par conséquent, exposer ici plus particulièrement la méthode d'analyser les mines de nickel par le gaz oximuriatique, et j'indiquerai les précautions qu'il faut prendre pour parvenir à son but.

Sur un tube de baromètre, à la distance de 3 pouces d'un de ses bouts, on souffle une boule de grosseur à n'être remplie qu'au $\frac{1}{3}$ par la poudre de la substance que l'on veut examiner. De l'autre côté de la boule, on effile le tube un peu, et on y souffle une autre boule plus petite, après quoi on courbe le tube effilé, comme on le voit sur la fig. *DEFGH* (fig. 1) (1). On pèse le tube d'abord vide, et ensuite avec la substance à analyser, pour déterminer le poids de cette dernière.

Pour dégager le gaz oximuriatique, on peut se servir d'un vase *A*, qui ait la capacité d'un ou tout au plus de deux litres; on y introduit un mélange de muriate de soude et d'oxide de manganèse, et on remplit le vase aux deux tiers avec de l'eau; on en bouche ensuite l'ouverture par un bouchon, par lequel passent un entonnoir allongé *B*, et un petit tube courbé, qui donne issue au gaz. La fig. *ABD* montre cet arrangement mieux que toute description. Du tube courbé, le gaz passe dans

---

(1) On trouvera cette figure dans un des Cahiers de ce volume.

un autre tube *C*, qui contient des petits morceaux de muriate de chaux fondu, et de celui-ci il entre dans le petit appareil qui contient la poudre à analyser. Les jointures se font moyennant de petits tubes de cahoutchouc fortement noués autour des tubes de verre. Le tube effilé *GH* descend perpendiculairement dans un flacon *HI*, jusqu'au tiers rempli d'eau distillée. *GH* passe par un bouchon de liége qui ferme l'ouverture du flacon, et qui contient encore un autre tube, long de vingt-quatre à trente-six pouces, par lequel le gaz oximuriatique excédant sort, et par lequel on le conduit hors de l'appartement, ou sous un manteau de cheminée. On voit cet arrangement dans la fig. *GHIK*. Le flacon est placé à une hauteur convenable moyennant la vis *M*.

Lorsque tout est ainsi disposé, on verse de l'acide sulfurique concentré par l'entonnoir *B*, dans la fiole, jusqu'à ce qu'un dégagement de gaz commence à s'opérer. On doit cependant prendre garde que le mélange ne s'échauffe pas trop, car il en résulterait une trop forte production de gaz oximuriatique. Le dégagement est assez fort quand quatre ou cinq bulles montent chaque minute dans le flacon *HI*. Aussitôt que la plus grande partie de l'air atmosphérique est remplacée par le gaz oximuriatique, on met une lampe à esprit-de-vin à quelque distance au-dessous de la boule *E*. On n'a besoin que d'une très-petite flamme, et on doit éviter une trop grande chaleur; car il est difficile de chasser entièrement, surtout au commencement, l'air atmosphérique, par lequel une petite partie de la mine pourrait produire de l'acide arsénieux, ce qui rendrait le résultat inexact. A mesure que la masse devient chaude, on voit distiller un liquide orange,

qui se condense dans la petite boule *F*, et à mesure que celle-ci se remplit, il coule par le tube *G H*, et tombe dans l'eau.

L'opération continue de cette manière, sans qu'on ait besoin de s'en occuper, sinon pour ajouter, toutes les deux ou trois heures, un peu d'acide sulfurique, quand le dégagement du gaz se ralentit. On n'emploie point de chaleur artificielle pour aider ce dégagement; car, dans ce cas, il se ferait avec trop de vitesse. Chaque bulle de gaz qui monte sur l'eau dans le flacon *HI* donne une petite fumée qui est due à une portion des acides doubles que l'eau n'a pas encore pu dissoudre; mais cette fumée retombe sur la surface de l'eau, et on n'en perd rien. Si, au contraire, le gaz se développait avec trop de précipitation, les vapeurs acides n'auraient point le temps de se condenser ni dans le flacon ni dans le long tube *IK*, et l'on verrait une fumée sortir de l'ouverture supérieure de celui-ci.

Pendant l'opération il se forme du muriate de peroxide de fer, qui se sublime en paillettes rouges et transparentes, et dont une petite quantité se dépose même dans le tube *E D*. C'est pourquoi il est bon d'avoir celui-ci assez long pour que la partie sublimée n'en sorte point. Une autre partie du muriate est entraînée par le courant dans la direction *EF*. Lorsque les acides se condensent avec le muriate, il en résulte une matière blanche et cristalline, dont une petite quantité descend même dans la petite boule *F*, qui a été faite pour empêcher le muriate de fer de descendre dans le flacon. Cette masse blanche est insoluble dans le liquide orange. Lorsqu'on a fait découler ce dernier dans le flacon, on décompose la masse blanche par une légère chaleur,

les acides doubles se volatilisent, et le muriate de fer reparaît avec sa couleur rouge.

On peut discontinuer l'opération à telle époque que l'on juge à propos. Je l'ai laissé continuer pendant vingt-quatre heures ; mais j'ai trouvé que, dans les dernières douze heures, je n'avais presque rien gagné. Le gaz oxi-muriatique ne produit point de décomposition partielle ; la mine entière se combine avec lui, et ce qui reste insoluble après l'opération n'a point subi d'altération ; il n'est donc nullement nécessaire d'attendre jusqu'à ce que le tout soit décomposé par l'opération.

Au moment où l'on discontinue l'opération, une partie des acides volatils adhère encore aux parois du petit appareil, depuis la grande boule jusqu'à l'ouverture du tube *H*. Pour s'en défaire, on chauffe les deux boules en même temps, mais à une température qui ne saurait volatiliser le muriate de fer, et pendant que les boules se refroidissent, on verse par l'entonnoir *B* une solution de carbonate de potasse, qui détermine un dégagement rapide de gaz carbonique, par lequel les dernières vapeurs des acides sont entraînées.

Quand enfin on a ôté *DEFGH*, on trempe *GH* à plusieurs reprises dans de l'eau pure, pour enlever les traces d'acide qui peuvent s'y être attachées, tant intérieurement qu'extérieurement, et on verse cette eau dans le flacon. On dissout ensuite les muriates métalliques dans de l'eau. Celui de fer se dissout promptement, mais celui de nickel repousse l'eau dans le commencement. On doit ajouter à l'eau une seule goutte d'acide muriatique pour empêcher le liquide de se troubler. On filtre, et on pèse la partie non dissoute.

Le liquide contient du muriate de protoxide de fer mêlé avec celui de peroxide. C'est ce muriate qui se forme d'abord, et qui ordinairement enveloppé dans celui de nickel, en est empêché de se combiner avec une nouvelle dose de gaz oximuriatique. Il faut donc, pour porter le fer à son *maximum* d'oxidation, ajouter de l'acide nitrique et chauffer à l'ébullition. Ensuite on sature avec de l'ammoniaque, on précipite le fer par du succinate d'ammoniaque, et on ajoute enfin un excès d'ammoniaque, pour s'assurer qu'aucune substance insoluble par l'ammoniaque ne se trouve dans le liquide.

On étend le liquide ammoniacal avec beaucoup d'eau, autant que possible privée d'air atmosphérique, et on précipite l'oxide de nickel par la potasse caustique. Les oxides de cobalt et de cuivre restés dans la solution, se déposent pendant l'évaporation de l'ammoniaque. On cherche la silice dans le liquide alcalin, en le saturant avec de l'acide muriatique et en évaporant à sec; l'eau dissout les sels, mais laisse la silice. L'oxide de nickel, aussi-bien que celui de cobalt, contient souvent de la silice qu'il faut en séparer par la dissolution de l'oxide dans l'acide muriatique, et par l'évaporation à sec qui rend la silice insoluble. Au reste, quant à la séparation des oxides métalliques avec lesquels ceux de nickel et de cobalt peuvent être mêlés, je renvoie à ce que j'en ai déjà dit plus haut.

L'eau dans laquelle les vapeurs acides se sont condensées contient l'arsenic et le soufre. Mais si le minéral contenait en même temps du bismuth, du zinc, de l'antimoine ou de l'étain, les muriates de ces métaux se trouveraient aussi dans le liquide. Cette dernière circon-

stance rendrait l'analyse extrêmement compliquée, et je la passe par conséquent ici sous silence.

Le flacon *HI* doit être muni d'un bouchon à l'émeri. On lave l'intérieur du tube *IK*, on bouche le flacon, et on le laisse dans un endroit chaud, afin que la plus grande partie du soufre précipité puisse être acidifiée. S'il en reste quelque partie, on ouvre le flacon, et on fait bouillir le liquide; le soufre s'agglutine, et peut ensuite commodément être lavé, séché et pesé.

Pour s'assurer que la liqueur acide ne contient point ni du fer entraîné par une opération mal conduite, ni d'autres métaux dont les muriates sont volatils, on la sature aussi exactement que possible avec de la potasse caustique. S'il se fait un précipité, on le recueille et on l'examine. Ensuite on rend le liquide acide de nouveau, et on précipite l'acide sulfurique par du muriate de baryte. On fait bien de séparer ensuite du liquide l'excès de muriate de baryte par une addition d'acide sulfurique, quoique cette dernière circonstance puisse aussi être négligée. Ensuite on verse dans le liquide restant une solution d'une quantité connue de fer métallique dans de l'acide nitrique, et l'on précipite l'oxide de fer et l'acide arsénique par de l'ammoniaque en excès. Si l'on attend, pour cette opération, que les autres ingrédiens aient été déterminés, on peut évaluer avec plus de précision la quantité de fer nécessaire pour précipiter l'acide arsénique. Pour 1 atome d'arsenic, on prend 2 atomes de fer, ce qui fait en poids relatifs 3 part. de fer pour 2 part. d'arsenic. Malgré qu'un excès d'oxide de fer augmente le volume du précipité, il contribue cependant à rendre le sous-arséniate moins gélatineux et

plus facile à édulcorer. On doit chauffer le sous-arséniate au feu à deux reprises, pour s'assurer qu'il ne perd plus rien ; car une petite quantité d'acide sulfurique adhère souvent à ce précipité avec beaucoup d'énergie.

Comme l'arséniate de baryte est aussi une combinaison insoluble, j'ai tâché de séparer l'acide arsénique d'une solution neutre par le muriate de baryte ; mais cette méthode a des inconvéniens tels qu'on ne peut point du tout s'en servir. D'abord l'arséniate de baryte, qui se précipite, est ordinairement un mélange d'arséniate neutre et de sous-arséniate, et le liquide devient acide, tout comme cela arrive avec les phosphates de baryte, de chaux, etc. Voulais-je donc précipiter du sous-arséniate de baryte, en ajoutant un excès d'ammoniaque, je trouvais qu'une partie considérable du sous-arséniate restait dissoute dans l'alcali excédant, tout comme l'on sait que cela arrive avec l'arséniate de chaux. J'ai enfin trouvé que lorsqu'on lave l'arséniate de baryte, l'eau ne cesse jamais de réagir avec de l'acide sulfurique. Je raconte ces circonstances pour épargner à d'autres le même travail infructueux.

Mémoire *sur la Phosphorescence des lampyres.*

Lu à la Société de Physique et d'Histoire naturelle de Genève par Mr J. Macaire, membre de cette Société.

Les animaux qui font le sujet de ce Mémoire ont dès long-temps excité l'intérêt des amis de la nature, et les hommes les plus instruits semblent n'avoir point dédai-

gné de partager avec le vulgaire l'admiration qu'excite la vue des insectes phosphorescens. Spallanzani, Carradori, Brugnatelli, Macartney et d'autres savans encore ont essayé tour-à-tour d'expliquer la cause de la lumière que ces animaux répandent, et plusieurs expériences ont été faites dans l'intérêt de telle ou telle hypothèse qu'ils avaient adoptée. Cependant, en parcourant les ouvrages où ces hommes d'une réputation scientifique si méritée ont déposé leur opinion à ce sujet, l'on ne peut qu'être surpris de la divergence de leur manière de voir, je ne dis pas seulement les théories, mais les résultats des mêmes essais. Ayant fait depuis long-temps quelques recherches sur une ou deux espèces d'insectes luisans, avant de connaître ce que l'on avait pu découvrir sur cette matière, je me suis déterminé à en exposer les résultats, sans vue systématique quelconque, et sans prétendre, comme plusieurs l'ont voulu tenter, à donner une cause générale à des phénomènes reproduits dans des circonstances et chez des animaux de classes entièrement différentes. Peut-être essaierai-je plus tard de donner mon opinion sur la cause du phénomène; mais dans ce travail je ne présenterai que des faits; heureux si l'intérêt d'un sujet qui a excité les méditations de tant d'hommes célèbres peut faire oublier pendant quelques momens l'insuffisance de l'écrivain qui essaie de glaner encore après eux.

Les deux seules espèces d'insectes luisans que ma position m'ait permis d'employer à mes expériences, sont les femelles des *lampyris noctiluca* et *splendidula*, confondus chez nous sous le nom vulgaire de *vers luisans.*

Les lampyres sont des insectes coléoptères, à antennes

filiformes; à quatre palpes renflés à leur extrémité; à mâchoire bifide; à lèvre cornée, entière. Les tarses ont cinq articles. Le corps est oblong, lisse, bordé; la tête est petite, arrondie, cachée sous le corselet; les yeux sont grands, globuleux, rapprochés; les antennes sont rapprochées, insérées sous les yeux. Le dessus du corselet est bordé, dilaté, couvrant la tête; l'écusson est petit, arrondi; les élytres molles, tombantes, de la longueur de l'abdomen chez le mâle, n'existent point chez la femelle. Leur couleur est sombre; ils vivent dans l'herbe, et se trouvent surtout sur les murs et au bord des bois.

L'espèce la plus commune et qui m'a fourni le plus grand nombre d'individus pour mes essais est le *lampyris noctiluca*, qui se distingue par le bord du corselet qui est cendré, et par deux points transparens au-dessus des yeux. Cet insecte paraît ordinairement avoir acquis son entier développement au mois de juin; cependant l'année dernière, en 1820, un nombre prodigieux de ces animaux se trouvait, au milieu de mai (le 11), dans les vignes, qui commençaient à peine à se couvrir de quelques feuilles, et y déployaient pendant la nuit leur brillante illumination. Le *lampyris splendidula* paraît beaucoup plus tard, et seulement à la fin de l'été.

Chez le *lampyris noctiluca* l'abdomen est composé de six segmens emboîtés les uns dans les autres, comme les tuiles d'un toit. Le dos est remarquable par une ligne saillante, élevée, qui va du corselet à l'extrémité de l'abdomen. Tout le corps est brun, à l'exception des trois derniers segmens, qui sont, de jour, d'un blanc jau-

nâtre ou verdâtre en dessous, et le dernier article seulement jaunâtre en dessus. De nuit, les trois derniers segmens de l'animal sont lumineux en dessous; la partie la plus brillante occupe le milieu dans les deux antépénultièmes articles et les deux côtés dans le dernier. Le reste des segmens n'offre qu'une lumière plus faible et comme voilée. Le quatrième segment présente un seul point lumineux près de son bord inférieur; le reste est noir. La ligne médiane du dos offre aussi quelque lumière dans les deux derniers articles, mais elle est faible et produit le même effet que celle qui passerait au travers d'un corps demi-transparent. Lorsqu'il est libre, l'animal se place de manière à pouvoir incliner et renverser l'extrémité de son abdomen, qu'il agite souvent. La lumière cesse d'ordinaire tout à-fait au lever du soleil, à l'exception des deux points lumineux du dernier segment, qui conservent une faible lueur, comme l'avait déjà vu Rasumowski (1). La phosphorescence commence à être visible entre sept et huit heures du soir.

Lorsque l'on ouvre l'abdomen d'un lampyre, on trouve que la lumière est produite au moyen d'un appareil particulier. Sur la surface intérieure des trois derniers anneaux, on découvre une matière d'un jaune blanchâtre, comme demi-transparente, qui, vue au microscope, présente une organisation très-remarquable de fibriles formant de nombreuses ramifications, et qui, dans l'obscurité, donne une vive phosphorescence. L'intérieur de l'anneau, privé de cette substance, n'est point lumineux,

---

(1) La lumière qui part de ces deux points paraît beaucoup moins soumise à la volonté de l'animal que celle des autres segmens.

et la phosphorescence ne paraît au dehors qu'au moyen de l'extrême transparence des tégumens dans cet endroit. La même matière se retrouve dans les deux petites loges placées des deux côtés du dernier anneau, et peut-être y est-elle d'un tissu plus dense et plus serré. Je reviendrai plus tard sur cette matière lumineuse et sur quelques-unes de ses propriétés.

L'on a prétendu que la phosphorescence des femelles de certains insectes, comme les lampyres, avait pour but de favoriser la réunion des sexes de ces animaux, en facilitant les recherches du mâle. Mais il se présente, à mon avis, une forte objection à cette cause finale, c'est que la phosphorescence n'est point bornée au temps des amours, comme plusieurs l'ont imaginé. Au moment où l'insecte sort de l'œuf, qui n'a lui-même aucune phosphorescence, il ressemble à un petit ver jaunâtre, d'une ligne au plus de longueur, quoique l'on puisse déjà observer les séparations des anneaux. Dans cet état, il est fort agile, marche très-vite et offre à l'extrémité de son abdomen les deux petites poches lumineuses que j'ai décrites plus haut. En grossissant, l'insecte noircit, les anneaux se prononcent, le nombre des points lumineux et l'intensité de la lumière augmentent sans qu'il y ait de véritable seconde transformation. Ce fait paraît avoir été connu de De Geer.

Je vais maintenant exposer l'influence de divers agens sur la phosphorescence des lampyres.

§ 1. *Influence de la volonté de l'animal sur sa phosphorescence.*

Cette influence, qui ne peut être niée, est sans doute ce qui rend les expériences tentées sur ces insectes sou-

vent douteuses et toujours difficiles, et je crois pouvoir lui attribuer en grande partie les variations des auteurs sur leurs résultats. Dans mes essais, j'ai toujours cherché le moyen de me rendre indépendant du caprice de l'animal, et de forcer sa lumière à paraître toutes les fois que j'en avais besoin, et aussi long-temps qu'elle m'était nécessaire, comme je le dirai dans le paragraphe suivant.

Le bruit et le mouvement semblent souvent déterminer l'insecte à obscurcir sa lumière, quoique cela n'arrive pas toujours. Un coup donné subitement l'y engage d'ordinaire, tandis qu'au contraire, si l'on tourmente quelque temps le lampyre par de légères percussions réitérées, la lumière semble augmenter. Le manque de nourriture, l'orage et le tonnerre, la lumière de quelques bougies, ne m'ont pas paru avoir d'influence notable sur la phosphorescence volontaire. La lumière solaire, au contraire, a un effet bien marqué. J'ai renfermé, à diverses reprises, un certain nombre de lampyres dans une boîte bien garantie de la lumière du jour, et très-rarement ils ont paru lumineux lorsqu'on ouvrait la boîte pendant la nuit, surtout le premier jour de l'expérience. En substituant au couvercle de la boîte une lame de verre et laissant les mêmes lampyres exposés à l'influence du soleil, on les a trouvés le soir brillans d'une vive lumière.

En général, toutes les fois que le lampyre obscurcit volontairement sa lumière, on voit la phosphorescence diminuer graduellement, en commençant par l'anneau lumineux le plus éloigné de l'extrémité; l'obscurité se propage peu à peu, et tantôt elle est complète, tantôt

on voit subsister une faible lumière aux deux points du dernier anneau.

Il m'a été impossible de découvrir par quel moyen le lampyre obscurcit ainsi sa lumière. L'hypothèse d'une membrane que l'insecte pourrait placer comme un écran sur l'organe phosphorescent se réfute d'elle-même, puisqu'on n'en découvre aucune trace dans l'animal, et que la matière lumineuse est immédiatement placée sur le tégument transparent. Il me semble qu'aucun moyen mécanique ne peut être raisonnablement supposé, et qu'il faut admettre pour cause de ce singulier phénomène une influence purement nerveuse. L'on trouve en effet, en disséquant le lampyre femelle, plusieurs filets nerveux d'un blanc rosé, qui vont se distribuer dans l'organe luminifère.

§ 2. *Influence de la température.*

Je m'aperçus bientôt qu'en élevant la température des lampyres à un certain point, la phosphorescence paraissait sur-le-champ et durait aussi long-temps que la chaleur était maintenue au même degré. Comme ce phénomène était de la plus grande importance pour les essais que je voulais faire, je dus l'étudier avec soin. Je chauffai un lampyre vivant et obscur, dans de l'eau dont la température initiale était de 11° R., comme nous l'indiquait un thermomètre qui y était plongé. A la première sensation de chaleur, l'animal s'agita beaucoup, et à 22° la lumière commença à paraître, et elle brillait du plus vif éclat aux environs de 33°. L'animal mourut bientôt après, sans pour cela que la phosphorescence disparût. A 46° il cessa de luire. Ce résultat est la moyenne

d'un grand nombre d'essais du même genre, tentés sur des lampyres vivans : la lumière a toujours paru entre le 20 et le 25° R., et a tout-à-fait cessé entre 47 et 50°. — Lorsqu'après avoir chauffé le lampyre jusqu'à 28° environ, l'on maintenait l'eau à cette température, la phosphorescence continuait quoique l'animal fût mort. Si l'on laissait l'eau se refroidir d'elle-même, la phosphorescence cessait dès que la température était descendue au-dessous de 20°. En jetant dans de l'eau chauffée à 35 ou 40° des lampyres vivans, ils meurent sur le-champ et deviennent vivement phosphorescens ; et si l'on augmente la température d'environ 10°, la lumière cesse et rien ne la fait plus revenir. — Lorsque l'on chauffe les lampyres sans eau, soit à feu nu soit dans du sable, les mêmes phénomènes se font apercevoir : seulement la phosphorescence cesse à un moindre degré ; ce qui est dû, comme je le dirai plus bas, à la plus prompte dessiccation de la matière lumineuse. Les mêmes effets ont lieu lorsque l'on opère sur des lampyres morts, pourvu qu'ils ne soient pas desséchés ou qu'ils n'aient pas été exposés à une température qui surpasse 45 ou 50°. J'ai quelquefois observé qu'après avoir chauffé un lampyre mort jusqu'à 35°, il luisait encore dans l'obscurité après le refroidissement de l'eau, et cet effet se prolongeait pendant deux ou trois jours.

Les rayons solaires concentrés au moyen d'une lentille produisent le même effet que la chaleur, et font paraître sur-le-champ la phosphorescence.

Si l'on expose, au contraire, un lampyre luisant spontanément à l'influence d'un froid artificiel, la lumière diminue peu à peu, et cesse lorsque la température des-

cend au-dessous de 10° R. L'animal meurt aux environs de 0°; mais il suffit de le chauffer à 25° pour faire reparaître la phosphorescence.

§ 3. *Durée de la phosphorescence après la mort.*

Lorsqu'on enlève la tête d'un lampyre luisant spontanément ou que l'on sépare les trois segmens lumineux, la lumière paraît peu à peu s'affaiblir, et après cinq minutes a entièrement cessé ; quelques minutes après, les anneaux lumineux reprennent leur mouvement, et la phosphorescence reparaît, mais avec une intensité beaucoup moindre. Cet effet continue faiblement pendant deux à trois jours ; mais la lumière n'a d'éclat que lorsqu'on chauffe l'animal, ce qui lui rend sur-le-champ une vive phosphorescence. Ce phénomène se répète aussi souvent que l'on veut pendant deux ou trois jours, après lesquels on ne peut plus le produire. De même, lorsqu'un lampyre est mort naturellement, il conserve pendant le même temps une faible phosphorescence visible dans l'obscurité.

§ 4. *Influence de l'eau, de l'alcool et des acides.*

Lorsque l'on plonge un lampyre brillant dans l'eau, il cesse de luire après quelques minutes s'il est vivant, et après une heure ou deux s'il est mort. Dans ce cas, la cessation de la lumière ne me paraît due qu'au refroidissement causé par le liquide ; et plus la température de l'eau est basse, plus promptement l'effet est produit, tandis que nous avons vu, au contraire, de l'eau chauffée à 25°, conserver très-long-temps la phosphorescence.

Si l'on chauffe l'animal après qu'il s'est éteint par l'immersion dans l'eau, la lumière reparaît. Dans l'alcool, au contraire, le lampyre s'éteint après deux minutes, et ne redevient plus phosphorescent par la chaleur.

Lorsque l'on plonge un lampyre luisant dans un acide minéral concentré, la lumière cesse sur-le-champ. Si l'acide est étendu d'eau, l'effet n'a lieu qu'après quelques minutes. Lorsqu'après avoir rendu un lampyre lumineux en le chauffant dans l'eau pure, l'on ajoute au liquide quelques gouttes d'un acide minéral concentré, la phosphorescence diminue peu à peu, et cesse enfin complètement sans que l'insecte ait perdu la vie. Il devient seulement incapable de devenir lumineux par aucun agent.

§ 5. *Influence des gaz et du vide.*

Après m'être assuré, par un grand nombre d'expériences, que, dans toutes ces circonstances, le lampyre devenait, dans l'air, lumineux par la chaleur, j'ai pu aborder sans crainte d'erreur les essais qui font le sujet de ce paragraphe.

Du vide. Un lampyre a été introduit dans un tube recourbé dans lequel on avait fait le vide avec une bonne machine. L'animal a paru mort quelque temps après. On l'a chauffé légèrement à la lampe et dans l'eau à 40° sans que la lumière ait paru, quoique le même animal, chauffé dans le même tube plein d'air, eût brillé d'un vif éclat. On observa seulement que la chaleur raréfiant les fluides de l'animal sans que la pression extérieure pût contrebalancer cet effet, le lampyre s'étendit et se balonna en

tout sens, et il se fit même des fissures à la peau. L'on porta l'appareil encore chaud dans l'obscurité, et l'on ne vit aucune phosphorescence; mais lorsque l'on rendit l'air, le corps de l'animal reprit tout-à-coup ses dimensions premières et une vive lumière se fit apercevoir. Cette expérience, répétée un grand nombre de fois, a toujours donné le même résultat.

Lorsque l'on introduit dans le même tube rempli d'air un lampyre luisant spontanément, la lumière continue, jusqu'au moment où l'on enlève l'air au moyen de la machine; alors la phosphorescence diminue peu à peu, et cesse enfin entièrement. Si l'on rend promptement l'air, l'insecte recommence à luire avec éclat. L'on peut répéter plusieurs fois cette expérience sur le même lampyre, elle réussit toujours.

Oxigène. Introduit dans ce gaz, le lampyre a paru fort agité, et, à la première application de la chaleur, a manifesté une vive lumière qui a paru surpasser, par son éclat, celle qui aurait eu lieu dans l'air. De même, si l'on met dans le gaz oxigène un lampyre luisant spontanément, la vivacité de la lumière semble augmenter, quoiqu'elle cesse quelque temps après.

Le gaz oxide d'azote offre à-peu-près les mêmes phénomènes.

Le chlore. Un lampyre placé dans le chlore y meurt sur-le-champ; si l'on chauffe légèrement l'animal, la lumière reparaît; mais au lieu de la couleur jaune verdâtre ordinaire, elle offre une teinte rosâtre, et quelquefois d'un assez beau rouge; du reste, elle s'éteint bientôt. Si l'on introduit dans le chlore l'insecte brillant spon-

tanément, la lumière devient rougeâtre et cesse bientôt après (1).

Hydrogène. Dans ce gaz, un lampyre brillant spontanément meurt bientôt, la lumière cesse et ne reparaît point par la chaleur. *Les gaz acide carbonique, sulfureux, hydrogène carboné et nitreux* produisent absolument le même effet.

§ 6. *Influence de l'électricité.*

Des lampyres obscurs exposés à l'action d'un courant électrique n'en ont éprouvé aucun effet sensible. On a fortement chargé une bouteille de Leyde, et l'on a exposé des lampyres à son influence; l'animal était attiré et recevait l'étincelle, mais sans aucune production de lumière. En déchargeant plusieurs fois la bouteille au travers du corps de l'insecte, l'on n'a pu obtenir aucune phosphorescence.

§ 7. *Influence du galvanisme.*

Un lampyre vivant et obscur placé dans le circuit voltaïque est devenu légèrement lumineux. Afin de le rendre meilleur conducteur, on l'a placé avec quelques gouttes d'eau dans un vase où se trouvait la boule d'un thermomètre, pour estimer l'élévation de la température. Le circuit a été établi au moyen de deux fils de

---

(1) Des lampyres laissés occasionellement pendant quelques jours dans un flacon de chlore y sont devenus absolument blancs et demi-transparens, en conservant toutes leurs formes. Cela pourrait fournir un très-bon moyen pour observer au microscope telle partie animale colorée qu'on voudrait. (*Aut.*)

platine, et l'insecte a paru sur-le-champ phosphorescent. La lumière a persisté aussi long-temps que l'action galvanique a été continuée, et la température ne s'est élevée que d'un demi-degré. Un seul des poles mis en contact avec l'insecte humecté est sans action sur la phosphorescence; mais dès que le circuit est établi dans quelque partie du corps que ce soit, la lumière paraît. Si pendant que l'insecte brille sous l'influence galvanique l'on enlève un des fils, la lumière cesse aussitôt, pour recommencer dès que le circuit est rétabli.

L'on a décapité un lampyre, et introduit par la section le fil conducteur d'un des poles de la pile jusqu'auprès des trois anneaux lumineux; en établissant le circuit, après avoir légèrement humecté l'insecte, la phosphorescence la plus vive s'est faite apercevoir, surtout lorsque le fluide galvanique traversait la partie inférieure de l'abdomen, où est situé l'organe lumineux. — J'ai séparé les trois derniers segmens d'un lampyre, et je les ai disséqués de manière à présenter les sacs lumineux ouverts; lorsque la matière phosphorescente eut cessé de luire, je la plaçai dans le circuit galvanique; une vive lumière parut aussitôt. Les globules de matière lumineuse seuls offrent le même phénomène. Il faut remarquer que les mêmes lampyres qui n'avaient point émis de lumière par l'action de la bouteille de Leyde sont sur-le-champ devenus phosphorescens sous l'influence galvanique.

J'ai profité de l'appareil de la lumière galvanique dans le vide pour soumettre mes lampyres à l'action voltaïque dans un espace privé d'air; l'insecte n'est point devenu lumineux, quoique dans l'air la phospho-

rescence fut très-vive avec les mêmes individus. Serait-ce la sécheresse que procure le vide qui rendrait l'insecte non conducteur? Mais, dans ce cas, il n'eût point été lumineux en rendant l'air sur-le-champ sans rien changer à l'appareil, et cependant la phosphorescence a paru.

§ 8. *De la Matière lumineuse.*

La matière lumineuse qui occupe, comme je l'ai dit, la partie intérieure des trois derniers segmens des lampyres, est d'un blanc jaunâtre, disposée en grains organisés, légèrement translucide, devenant opaque en se desséchant, et cessant alors de luire; aussi, lorsqu'on ouvre l'abdomen des lampyres morts depuis quelques jours, on trouve la matière lumineuse entièrement opaque, jaune et desséchée; s'ils sont conservés dans l'eau, elle est blanche et a seulement perdu sa translucidité. Sa pesanteur spécifique est un peu plus grande que celle de l'eau distillée. Conservée à l'air dans l'eau, elle brille spontanément d'une lumière d'un jaune légèrement verdâtre, pendant deux ou trois heures, puis elle s'éteint. La chaleur ou le galvanisme raniment la lumière aussi long-temps que la matière n'est pas tout-à-fait opaque (1).

---

(1) La matière lumineuse du lampyre a quelques rapports pour les caractères extérieurs avec la matière intestinale ordinaire, et la principale différence qui les distingue est la demi-transparence de la première. Dans une expérience qui nécessitait la décapitation de l'insecte, on aperçut que la sanie opaque et blanchâtre qui sortait de la blessure, c'est-à-dire, la matière intestinale, devenait légèrement phosphorescente

Exposée à la chaleur, la matière phosphorescente augmente d'éclat jusqu'à 33° R.; après quoi, si l'on continue à chauffer, la lumière diminue et devient rougeâtre. Elle cesse tout-à-fait à 42°. La matière lumineuse est alors blanche, opaque et semblable à de l'albumine coagulée. Dans le vide elle s'éteint, et luit de nouveau si l'on rend l'air.

Dans les gaz, elle se comporte comme nous l'avons vu pour les lampyres; et si lorsqu'elle est sur le point de s'éteindre on remplace le gaz non oxigéné par de l'air ou de l'oxigène, la phosphorescence se ranime aussitôt. Le chlore et les acides nitreux et sulfureux font seuls exception; la lumière est détruite sans retour dans ces gaz.

Chauffée à feu nu, la matière lumineuse cesse de luire, brûle et donne l'odeur de la corne brûlée, en même temps qu'elle fournit des produits sensiblement ammoniacaux.

Les acides concentrés minéraux et végétaux l'éteignent et la coagulent sur-le-champ; les premiers la dissolvent ensuite à l'aide de la chaleur, et l'acide sulfurique se colore dans cette opération en bleu verdâtre : en saturant les acides par un alcali, la lumière n'est point reproduite. Les acides étendus la coagulent aussi, mais un peu moins vite.

---

dans l'obscurité; mais comme ce phénomène ne s'est présenté qu'une seule fois, et que la chaleur et le galvanisme n'ont pu dans aucun cas rendre cette matière lumineuse, je ne puis rattacher ce fait à aucun autre qui lui soit analogue; et je ne le cite ici qu'en raison de la singularité. (*Aut.*)

La matière lumineuse n'est pas soluble dans l'huile et les corps gras, ni à chaud ni à froid; elle semble n'y perdre sa phosphorescence que parce qu'ils s'opposent au contact de l'air.

L'éther et l'alcool font cesser sur-le-champ la phosphorescence en rendant la matière lumineuse, blanche et opaque; dans tous ces cas, la chaleur et le galvanisme ne peuvent plus faire paraître aucune lumière. La potasse pure éteint la matière lumineuse, et la dissout complètement en prenant une teinte légèrement orangée; la saturation par un acide détruit la couleur, mais ne rétablit point la lumière. Une solution de sublimé corrosif détruit sur-le-champ la phosphorescence en coagulant la matière lumineuse; elle se précipite alors au fond du vase : les sels de cuivre ont la même propriété.

Elle est insoluble par l'ébullition dans l'eau, et semble seulement y acquérir plus de consistance.

D'après ces diverses propriétés, je suis porté à regarder la matière lumineuse comme essentiellement, sinon en totalité, composée d'albumine dans un état de demi-transparence; et la cause de la cessation de la lumière me paraît être la coagulation de cette albumine et son passage à l'état opaque.

En résumant les faits consignés dans ce Mémoire, ils me semblent pouvoir se réduire aux suivans :

1°. Un certain degré de chaleur est nécessaire à la phosphorescence volontaire des lampyres.

2°. La phosphorescence de la matière lumineuse des lampyres est excitée par un degré de chaleur supérieur

au premier, et détruite sans retour par une température encore plus élevée.

3°. Tous les corps susceptibles de coaguler l'albumine enlèvent la propriété de luire à la matière phosphorescente.

4°. La phosphorescence ne peut avoir lieu que dans un gaz qui contienne de l'oxigène.

5°. Elle est excitée par la pile, et n'éprouve aucun effet par l'électricité.

6°. La matière lumineuse est principalement composée d'albumine. (*Bibl. univ.* Mai 1821.)

IIe Note *sur la Coloration des lames cristallisées.*

Par Mr A. Fresnel.

Dans la première Note, j'ai donné les formules générales des teintes d'une seule lame cristallisée; je vais calculer maintenant les effets qui résultent de la réunion de plusieurs lames. Je supposerai toujours ces cristaux à faces parallèles et perpendiculaires au rayon incident, afin de n'être point obligé de faire entrer dans le calcul les déviations des plans de polarisation produites par l'inclinaison des surfaces, pour lesquelles nous n'avons point de formule rigoureuse, et dont il faudrait tenir compte, du moins dans les grandes obliquités. Peu importe, d'ailleurs, que les faces de ces lames soient parallèles ou obliques à leurs axes, et qu'elles en aient un ou deux, pourvu que la position des plans de polarisation des rayons ordinaires et extraordinaires soit connue dans

chaque lame, ainsi que leur différence de marche, qu'on peut toujours calculer quand on connaît leurs vitesses respectives; les raisonnemens que nous allons faire s'appliqueront également à tous les cas.

Lorsqu'on superpose un nombre quelconque de lames cristallisées, en plaçant leurs sections principales (1) suivant la même direction, les rayons ordinaires et extraordinaires qui sortent de la première lame continuent à subir dans les autres le même genre de réfraction qu'ils ont éprouvé d'abord; en sorte qu'il n'en résulte définitivement que deux systèmes d'ondes, comme pour le cas d'une seule lame. On peut donc appliquer à un pareil assemblage de lames cristallisées les formules que nous avons données pour une seule, en y substituant la différence totale de marche produite par le passage de la lumière au travers de toutes ces lames. Cette différence sera égale à la somme de celles qui résultent de chaque lame, si ce sont les rayons de même nom, les rayons ordinaires, par exemple, qui les traversent toutes avec le plus de vitesse; dans le cas contraire, il faudra ajouter les différences de marche produites par les lames où la vitesse de propagation des rayons ordinaires est plus grande que celle des rayons extraordinaires, faire ensuite la somme des différences de marche données par les lames où les rayons ordinaires marchent moins vite que les rayons extraordinaires, et retrancher ces deux sommes l'une de l'autre; on aura ainsi la différence définitive des chemins parcourus au même instant par les deux systèmes d'ondes qui sont sortis de cet assemblage de lames cristallisées.

Si les sections principales d'une partie des lames étaient

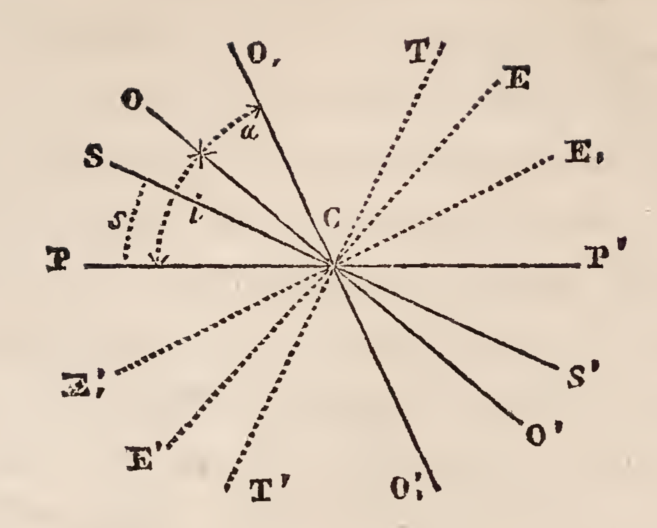
---

(1) J'entends ici par *section principale* le plan de polarisation des rayons ordinaires, soit que le cristal ait deux axes ou qu'il n'en ait qu'un.

perpendiculaires à celles des autres, que je suppose parallèles entre elles, il est clair qu'il n'en résulterait encore que deux systèmes d'ondes, comme dans le cas précédent; seulement les rayons qui ont été réfractés ordinairement par les premières, le seraient extraordinairement par les autres, et les rayons extraordinaires de celles-là deviendraient ordinaires dans celles-ci. On voit donc que, pour avoir la différence définitive de marche des deux systèmes d'ondes, il faut faire la somme des différences produites par tous les cristaux *attractifs* (pour me servir de l'expression usitée), dont les sections principales sont parallèles à la première direction, en retrancher la somme des différences produites par les cristaux répulsifs dont les sections principales ont la même direction, faire un calcul semblable pour les lames dont les sections principales sont perpendiculaires à la première direction, et retrancher les deux résultats l'un de l'autre; ou, ce qui revient au même, on ajoutera les différences de marche provenant des cristaux de même genre qui ont leurs sections principales parallèles entre elles, avec les différences de marche provenant de cristaux de genre contraire dont les sections principales leur sont perpendiculaires, et l'on retranchera l'une de l'autre les deux sommes ainsi obtenues.

Après avoir considéré les cas particuliers où l'on peut appliquer à la réunion d'un nombre quelconque de lames cristallisées les formules que nous avons données pour une seule, occupons-nous maintenant du cas général de deux lames superposées dont les sections principales font entre elles un angle quelconque, et sont disposées d'une manière quelconque par rapport au plan primitif de polarisation, ainsi que la section principale du rhomboïde de spath calcaire qui sert à analyser la lumière émergente.

Soient PP' le plan primitif de



polarisation, OO' la section principale de la première lame $O_{,}O'_{,}$ celle de la seconde, SS' la section principale du rhomboïde; EE', $E_{,}E'_{,}$, TT' des plans respectivement perpendiculaires aux trois premiers : je représente par i l'angle OCP que la première lame fait avec le plan primitif de polarisation, par a l'angle $OCO_{,}$, que la section principale de la seconde lame fait avec celle de la première, et par s l'angle PCS de la section principale du rhomboïde avec le plan primitif.

La lumière incidente se divisera dans la première lame en deux systèmes d'ondes polarisés, l'un suivant CO, et l'autre suivant CE'; chacun d'eux se divisera, dans la seconde lame, en deux systèmes d'ondes polarisés, l'un suivant $O_{,}O'_{,}$, et l'autre suivant $E_{,}E'_{,}$; et enfin, en traversant le rhomboïde, chacun de ces quatre faisceaux se divisera en deux autres, l'un polarisé suivant sa section principale SS', et l'autre dans le plan perpendiculaire TT'. Les quatre faisceaux polarisés définitivement suivant SS' formeront l'image ordinaire, et les quatre autres polarisés suivant TT' constitueront l'image extraordinaire. Nous ne nous occuperons que de l'image ordinaire, l'autre image étant toujours complémentaire de celle-ci. On trouve, pour les intensités

des vitesses d'oscillation des quatre faisceaux constituans de l'image ordinaire, les expressions suivantes :

$$\cos i \cos a \cos (a+i-s) . F_{o+o}', \quad \cos i \sin a \sin (a+i-s) F_{o+e}',$$
$$P . O . O_{,} . S. \qquad\qquad P . O . E_{,}' . S.$$

$$-\sin i \sin a \cos (a+i-s) . F_{e+o}', \quad \sin i \cos a \sin (a+i-s) . F_{e+e}' ;$$
$$P . E' . O_{,}' . S'. \qquad\qquad P . E' . E_{,}' . S.$$

dans lesquelles F représente toujours l'intensité des vitesses d'oscillation de la lumière incidente, ou plus exactement de cette lumière diminuée de tout ce qu'elle perd en traversant les trois cristaux. On n'a marqué que les chemins parcourus au même instant par les différens systèmes d'ondes après qu'ils ont traversé les deux lames cristallisées, sans s'occuper de leur marche dans le rhomboïde, qui est la même pour tous, puisqu'ils y ont tous subi la réfraction ordinaire. On a affecté la troisième expression du signe —, en raison de la marche du plan de polarisation de ce système d'ondes comparé à celles des plans de polarisation des trois autres : en suivant les changemens successifs de ces plans de polarisation, indiqués par les lettres majuscules placées sous chaque expression, on reconnaîtra en effet que, pour le troisième faisceau, l'extrémité P du plan primitif est venue se placer définitivement en S', tandis que, pour les trois autres, elle est allée en S; d'où résulte l'opposition de sens qui entraîne l'opposition de signe, comme dans la composition des forces.

Pour trouver la résultante de ces quatre systèmes d'ondes, il faut suivre la règle que j'ai donnée dans mon Memoire sur la diffraction déjà cité, page 256 ; elle consiste à décomposer chaque système d'ondes en deux autres, dont les positions sont les mêmes pour tous, et diffèrent l'une de l'autre d'un quart d'ondulation : on fait ensuite la somme des composantes rapportées à la première position, puis celle des

composantes rapportées à la seconde, et, en ajoutant les carrés de ces deux sommes, on a l'intensité de la lumière totale qui résulte de l'interférence des différens systèmes d'ondes. Je choisis pour la position des premières composantes celle qui répond au chemin parcouru $o+e$, par exemple ; la position des autres différera de celles-ci d'un quart d'ondulation : l'on aura, pour la somme des premieres :

$$\cos i \cos a \cos (a+i-s) \cos 2\pi \left(\frac{e-o'}{\lambda}\right)$$

$$+\cos i \sin a \sin (a+i-s) \cos 2\pi \left(\frac{e-e'}{\lambda}\right)$$

$$-\sin i \sin a \cos (a+i-s) \cos 2\pi \left(\frac{o-o'}{\lambda}\right)$$

$$+\sin i \cos a \sin (a+i-s) \cos 2\pi \left(\frac{o-e'}{\lambda}\right);$$

et pour la somme des secondes :

$$\cos i \cos a \cos (a+i-s) \sin 2\pi \left(\frac{e-o'}{\lambda}\right)$$

$$+\cos i \sin a \sin (a+i-s) \sin 2\pi \left(\frac{e-e'}{\lambda}\right)$$

$$-\sin i \sin a \cos (a+i-s) \sin 2\pi \left(\frac{o-o'}{\lambda}\right)$$

$$+\sin i \cos a \sin (a+i-s) \sin 2\pi \left(\frac{o-e'}{\lambda}\right).$$

J'ai supprimé ici le facteur commun F, qui aurait compliqué inutilement le calcul, et qu'on peut d'ailleurs prendre pour unité.

En élevant les deux sommes au carré et ajoutant ces deux carrés, on trouve, après plusieurs réductions :

$$\cos^2 s + \sin 2a \sin 2i \cos 2(a+i-s) \sin^2 \pi \left(\frac{o-e}{\lambda}\right)$$

$$-\sin 2a \cos 2i \sin 2(a+i-s) \sin^2 \pi \left(\frac{o'-e'}{\lambda}\right)$$

$$-\cos^2 a \sin 2i \sin 2(a+i-s) \sin^2 \pi \left(\frac{o-e+o'-e'}{\lambda}\right)$$

$$+\sin^2 a \sin 2i \sin 2(a+i-s) \sin^2 \pi \left(\frac{o-e-(o-e')}{\lambda}\right).$$

Telle est l'expression générale de l'intensité d'une lumière simple dans l'image ordinaire. On peut la considérer en même temps comme représentant la teinte produite par la lumière blanche, puisque cette formule donne l'intensité relative de chaque espèce de rayons colorés en fonction de leur longueur d'ondulation.

On voit que cette expression contient quatre termes variables avec la longueur λ de l'ondulation lumineuse, multipliés par des coefficiens qui ne dépendent que des angles a, i et s. La première fonction de λ est :

$$\sin^2 \pi \left(\frac{o-e}{\lambda}\right);$$

la seconde,

$$\sin^2 \pi \left(\frac{o'-e'}{\lambda}\right);$$

la troisième,

$$\sin^2 \pi \left(\frac{o-e+o'-e'}{\lambda}\right),$$

et la quatrième,

$$\sin^2 \pi \left(\frac{o-e-(o'-e')}{\lambda}\right).$$

Ce sont précisément celles qui formeraient le terme variable de la formule pour une seule lame cristallisée, dont on supposerait successivement l'épaisseur égale à celle de la première lame, à celle de la seconde, à la somme de leurs épaisseurs, et à leur différence, si les deux lames sont de même nature. Et en effet, le système des deux lames croisées peut présenter les mêmes effets qu'une seule lame qui aurait successivement les épaisseurs que nous venons d'indiquer ; 1° quand la section principale du rhomboïde est parallèle ou perpendiculaire à

celle de la seconde lame, puisqu'alors chaque image donnée par le rhomboïde ne contient que des rayons qui ont éprouvé la même réfraction dans cette lame, et entre lesquels elle n'a établi aucune nouvelle différence de chemins parcourus; 2° lorsque la section principale de la première lame est parallèle ou perpendiculaire au plan primitif de polarisation, puisque les rayons incidens n'éprouvent plus alors dans cette lame qu'un seul mode de réfraction; 3° lorsque les sections principales des deux lames sont parallèles entre elles; 4° quand elles sont rectangulaires. Ces deux derniers cas rentrent dans ceux dont nous avions déjà parlé avant de calculer la formule. Les expériences de M. Biot avaient démontré d'avance ces conséquences de la théorie, qu'on peut déduire de la formule en y faisant successivement : $a+i-s=0$, $a+i-s=90°$, $i=0$, $i=90°$, $a=0$, $a=90°$.

Par une marche semblable à celle que nous venons d'indiquer pour deux lames, on pourrait également calculer les formules générales des intensités des diverses espèces de rayons colorés dans les images ordinaires et extraordinaires, pour 3, 4, 5, etc. lames superposées, dont les sections principales feraient entre elles des angles quelconques. L'application de la théorie à ces cas plus compliqués serait aussi facile; les calculs seraient seulement plus longs.

On voit quel avantage a cette théorie sur celle de *la polarisation mobile*, qui devient si embarrassante quand on veut savoir comment *les oscillations des axes des molécules lumineuses* se renouent dans le passage d'une lame à une autre dont la section principale fait un angle quelconque avec celle de la première. Aussi la théorie de la polarisation mobile n'a-t-elle fourni à M. Biot le moyen de déterminer tous les coefficiens de ses formules, pour deux lames superposées, que dans des cas très-particuliers; et même il en est un où ses formules ne représentent pas les faits avec exactitude,

comme j'en ai été averti par les miennes; c'est le cas où la section principale du rhomboïde étant parallèle ou perpendiculaire au plan primitif, les deux lames étant de même nature, ont la même épaisseur, et leurs axes croisés sous un angle de 45°. M. Biot avait conclu de ses formules que lorsqu'on fait tourner le système des deux lames croisées dans son plan, les teintes des images doivent rester constantes. L'expression générale que nous venons de trouver pour l'intensité de chaque espèce de lumière simple dans l'image ordinaire, conduit à une conséquence différente. En effet, dans le cas dont il s'agit, $o'-e'=o-e$, puisque les deux lames sont de même nature et de même épaisseur, $a=45°$ et $s=0$ ou 90°, supposons $s=0$; et substituons ces valeurs dans la formule, nous aurons, toutes réductions faites :

$$\cos^2 \pi \left(\frac{o-e}{\lambda}\right) - \tfrac{1}{4} \sin 4i \sin^2 2\pi \left(\frac{o-e}{\lambda}\right).$$

Cette expression, n'étant pas indépendante de i, qui est l'angle que la section principale de la première lame fait avec le plan primitif de polarisation, doit changer de valeur quand on fait tourner le système des deux lames dans son plan. Lorsque $\sin 4i=0$, elle devient :

$$\cos^2 \pi \left(\frac{o-e}{\lambda}\right),$$

qui est précisément la formule que nous avons trouvée pour une seule lame de même épaisseur qu'une des deux dont il s'agit, quand sa section principale fait un angle de 45° avec le plan primitif; et en effet, dans toutes les positions du système des deux lames croisées où $\sin 4i=0$, c'est-à-dire, lorsque i est égal à 45°, 90°, 135°, 180°, etc., la teinte de l'image est parfaitement semblable à celle que donne une des deux lames prise séparément, et tournée de manière que sa section principale soit dans l'azimut de 45°, ainsi que

M. Biot l'avait annoncé, et comme on peut le vérifier aisément par l'expérience. Mais, pour toutes les valeurs intermédiaires de i, la formule diffère plus ou moins de

$$\cos^2 \pi \left(\frac{o-e}{\lambda} \right);$$

et cette différence atteint son *maximum*, lorsque sin $4i$ devient égal à 1, c'est-à-dire, quand i est égal à un nombre impair de quarts de quadrans.

Il est à remarquer que, même dans ce cas, le coefficient de sin $4i$ ne peut pas excéder $\frac{1}{4}$, quelle que soit la valeur de

$$\sin^2 2\pi \left(\frac{o-e}{\lambda} \right),$$

puisqu'il est multiplié par $\frac{1}{4}$. D'ailleurs, il s'évanouit pour les deux espèces de rayons dont la longueur d'ondulation rend

$$\frac{o-e}{\lambda}$$

égal à un nombre entier, ou à un nombre entier plus $\frac{1}{2}$, puisqu'alors

$$\sin^2 2\pi \left(\frac{o-e}{\lambda} \right)$$

est égal à zéro : or, la première espèce de rayons est celle qui domine dans l'image ordinaire, puisque

$$\cos^2 \pi \left(\frac{o-e}{\lambda} \right)$$

devient égal à 1, quand

$$\frac{o-e}{\lambda}$$

est un nombre entier, et la seconde espèce est celle qui en est entièrement exclue, puisque

$$\cos^2 \pi \left(\frac{o-e}{\lambda} \right)$$

devient nul, quand

$$\frac{o-e}{\lambda}$$

est égal à un nombre entier plus $\frac{1}{2}$. Ainsi, les variations de i ne doivent apporter que des changemens assez légers dans la teinte de l'image ordinaire, lorsqu'on emploie de la lumière blanche; 1° parce que le terme qui contient i est multiplié par $\frac{1}{4}$; 2° parce qu'il est nul pour les rayons qui dominent dans l'image, et pour ceux qui en sont entièrement exclus, et qu'en conséquence ces deux espèces de rayons, qui déterminent particulièrement la nature de la teinte, n'éprouvent aucun changement d'intensité quand on fait tourner le système des deux lames croisées dans son plan. Ce sont donc seulement les autres espèces de rayons dont l'intensité varie; mais comme ces variations sont multipliées par un quart, on conçoit qu'elles ne peuvent guère, en général, changer la couleur de l'image d'une manière très-sensible, et que leur effet ordinaire doit être de la rendre seulement plus ou moins foncée. Voilà, sans doute, pourquoi ces légères variations ont pu échapper à l'attention d'un observateur aussi habile et aussi exercé que M. Biot, ou lui paraître de simples anomalies indépendantes du phénomène principal.

Lorsque i est égal à un quart de quadrans, ou, en général, à un nombre entier plus $\frac{1}{4}$ de quadrans, $\sin 4i = 1$, et tous les rayons qui se mêlent aux rayons dominans sont réduits au *minimum* d'intensité, parce que le terme variable atteint son *maximum* en restant négatif; ainsi la teinte de l'image ordinaire doit devenir alors plus pure et plus foncée, puisqu'elle contient moins de lumière hétérogène. Quand, au contraire, i est égal aux $\frac{3}{4}$ d'un quadrans, ou à un nombre entier plus $\frac{3}{4}$ de quadrans, $\sin 4i = -1$, et tous les rayons hétérogènes dont nous venons de parler atteignent leur *maximum* d'intensité; alors l'image ordinaire doit être à la fois plus éclairée

et d'une couleur moins pure que dans le premier cas. C'est ce qu'on reconnaîtra facilement en faisant l'expérience avec attention.

Les variations d'intensité de ces rayons deviennent bien plus sensibles quand, au lieu de lumière blanche, on emploie une lumière à-peu-près homogène, en choisissant celle pour laquelle $o-e$ est un nombre impair de quarts d'ondulation, ou l'épaisseur de lame qui satisfait à cette condition. Il est facile de reconnaître quand elle est remplie ; car, ainsi que nous l'avons vu, la lumière homogène doit être, dans ce cas, complètement dépolarisée en passant au travers d'une seule des deux lames, dont on a dirigé la section principale à 45° du plan primitif. Alors, si l'on fait tourner le système des deux lames croisées dans son plan, on verra l'intensité de l'image ordinaire changer considérablement, comme l'indique la formule ; car, lorsque $e-o$ est un nombre impair de quarts d'ondulation,

$$\sin^2 2\pi \left(\frac{o-e}{\lambda}\right)$$

atteint son *maximum* et est égal à 1, tandis que

$$\cos^2 \pi \left(\frac{o-e}{\lambda}\right)$$

est égal à $\frac{1}{2}$, et la formule devient $\frac{1}{2}-\frac{1}{4}\sin 4i$, qui donne $\frac{1}{4}$ lorsque i est égal au quart d'un quadrans ou à un nombre entier, plus $\frac{1}{4}$ de quadrans, et $\frac{3}{4}$ lorsque i est égal aux trois quarts d'un quadrans ou à un nombre entier, plus $\frac{3}{4}$ de quadrans ; en sorte que, dans le second cas, l'intensité de l'image ordinaire est triple de ce qu'elle est dans le premier. On conçoit que cette différence doit être diminuée en général, par le défaut d'homogénéité de la lumière employée, et d'autant plus que les lames sont plus épaisses.

Considérations mécaniques sur la polarisation de la lumière.

Lorsque je m'occupais de la rédaction de mon premier Mémoire sur la coloration des lames cristallisées (en septembre 1816), je remarquai que les ondes lumineuses polarisées agissaient les unes sur les autres comme des forces perpendiculaires aux rayons qui seraient dirigées dans leurs plans de polarisation, puisqu'elles ne s'affaiblissent ni ne se fortifient mutuellement quand ces plans sont rectangulaires, et que deux systèmes d'ondes présentent une opposition de signe indépendante de la différence des chemins parcourus, lorsque leurs plans de polarisation, d'abord réunis, se séparent et rentrent ensuite dans un plan commun, en se plaçant sur le prolongement l'un de l'autre. M Ampère, à qui j'avais communiqué ces résultats de l'expérience, fit la même réflexion relativement à l'opposition de signe résultant de la marche des plans de polarisation. Nous sentîmes l'un et l'autre que ces phénomènes s'expliqueraient avec la plus grande simplicité, si les mouvemens oscillatoires des ondes polarisées n'avaient lieu que dans le plan même de ces ondes. Mais que devenaient les oscillations longitudinales suivant les rayons? Comment se trouvaient-elles détruites par l'acte de la polarisation, et comment ne reparaissaient-elles pas lorsque la lumière polarisée était réfléchie ou réfractée obliquement par une plaque de verre?

Ces difficultés me semblaient si embarrassantes que je négligeai notre première idée, et continuai de supposer des oscillations longitudinales dans les rayons polarisés, en y admettant en même temps des mouvemens transversaux, sans lesquels il m'a toujours paru impossible de concevoir la polarisation et la non-influence mutuelle des rayons polarisés à

angle droit. Ce n'est que depuis quelques mois qu'en méditant avec plus d'attention sur ce sujet, j'ai reconnu qu'il était très-probable que les mouvemens oscillatoires des ondes lumineuses s'exécutaient uniquement suivant le plan de ces ondes, pour la lumière directe comme pour la lumière polarisée. Je ne puis pas entrer ici dans le détail des calculs sur les diverses combinaisons de mouvemens longitudinaux et transversaux qui m'ont conduit à cette conséquence. Je m'attacherai seulement à faire voir que l'hypothèse que je présente n'a rien de physiquement impossible, et qu'elle peut déjà servir à l'explication des principales propriétés de la lumière polarisée au moyen de considérations mécaniques très-simples.

Les géomètres qui se sont occupés des vibrations des fluides élastiques n'ont considéré, je crois, comme force accélératrice que la différence de condensation ou de dilatation entre les couches consécutives. Je ne vois rien du moins dans leurs équations qui indique, par exemple, qu'une couche indéfinie, en glissant entre deux autres, doit leur communiquer du mouvement, et il est évident que sous ce rapport leurs équations ne disent pas tout ce qui se passe réellement. Cela tient à ce qu'ils représentent mathématiquement les fluides élastiques par une réunion de petits élémens différentiels susceptibles de se condenser ou de se dilater et *juxtà-posés*; tandis que, dans la nature, les fluides élastiques sont composés sans doute de points matériels séparés par des intervalles plus ou moins considérables relativement aux dimensions de ces molécules. Or, concevons dans un fluide trois files indéfinies parallèles et consécutives de points matériels ainsi disposés : si l'on suppose entre ces molécules une certaine loi de répulsion, elles affecteront, dans l'état d'équilibre et de repos absolu, un arrangement régulier d'après lequel elles seront également espacées sur les trois rangées, et celles de la file intermédiaire répondront, je suppose, aux

milieux des intervalles compris entre les molécules des deux autres : je n'indique cette disposition particulière que pour fixer les idées ; car il est clair qu'elle ne saurait avoir lieu suivant toutes les directions. Mais quelle que soit celle des files que l'on considère dans le milieu élastique, leurs points matériels tendront toujours à se placer dans les positions relatives qui amènent l'équilibre stable. Supposons donc que cette condition soit satisfaite; si l'on dérange un peu la file intermédiaire en la faisant glisser sur elle-même, mais seulement d'une quantité très-petite par rapport à l'intervalle de deux molécules consécutives, et qu'ensuite on la laisse libre, chacun de ses points matériels reviendra vers sa première situation (indépendamment de ce qui se passe aux extrémités de la rangée, puisque nous la supposons indéfinie) (1), et oscillera de part et d'autre comme un pendule qui a été écarté de la verticale. Mais si l'on avait assez éloigné ces molécules de leurs points de départ pour les placer exactement vis-à-vis les molécules des deux autres rangées (supposées immobiles), il en serait résulté un nouvel équilibre. Faisons encore glisser la file intermédiaire jusqu'à ce que ses points matériels répondent de nouveau aux milieux des vides des deux autres, et elle rentrera dans un troisième état d'équilibre semblable au premier. On voit qu'en continuant à la faire glisser dans le même sens, elle serait en équilibre à cha-

---

(1) Comme il n'arrive jamais que les ondes lumineuses présentent, dans le sens perpendiculaire aux rayons, cette longueur indéfinie que nous avons considérée ici pour simplifier les raisonnemens, on pourrait se demander comment ces mouvemens transversaux ne se propagent point sensiblement au-delà de l'extrémité des ondes. Ils ne peuvent pas sans doute s'anéantir brusquement à leur extrémité ; mais il est aisé de voir qu'à une distance un peu grande par rapport à la longueur d'une ondulation lumineuse, les oscillations contraires qu'y envoient les différentes parties du système d'ondes doivent se neutraliser mutuellement.

que demi-intervalle de molécules, et n'éprouverait ainsi, que dans les positions intermédiaires, l'action des forces rétardatrices, dont l'effet serait compensé, après chaque instant très-court, par les forces accélératrices qui leur succéderaient.

Il est très-possible que la fluidité d'un corps tienne à ce qu'en vertu d'une grande dissémination de ses molécules, ces différentes positions d'équilibre sont beaucoup plus rapprochées que dans les solides, en sorte que la force rétardatrice qui tend à ramener le système dans son premier état, ne pouvant croître que dans un trop petit intervalle, n'acquiert jamais une grande intensité; mais on conçoit que, quand il ne s'agit que de déplacemens très-petits relativement aux intervalles qui séparent deux molécules consécutives, la force rétardatrice pourrait avoir dans un liquide autant ou même plus d'intensité que dans un solide. Or, ce sont seulement de très-petits déplacemens de ce genre dans les couches de l'éther et des corps transparens qui constitueraient les vibrations lumineuses, d'après l'hypothèse que j'ai nouvellement adoptée (1).

---

(1) Si les molécules des corps diaphanes participent aux vibrations de l'éther qui les environne de toutes parts, comme cela me paraît probable, les forces développées par les déplacemens relatifs des tranches du milieu parallèlement aux ondes doivent être bien supérieures en intensité à celles qui propagent les ondulations sonores dans les mêmes milieux, par rapport aux masses des tranches que les unes et les autres mettent en mouvement, puisque la vitesse de propagation de la lumière est incomparablement plus grande que celle du son. Mais cela peut tenir à ce que les déplacemens qui constituent les oscillations sonores ont lieu entre des particules d'un ordre beaucoup plus composé, entre des tranches beaucoup plus épaisses que ceux qui constituent les vibrations lumineuses, et que les premiers déplacemens ne font pas naître des forces accélératrices aussi énergiques relativement aux masses des tranches qu'elles mettent en mouvement.

J'ai supposé, pour simplifier les idées et expliquer plus clairement la nature des forces d'équilibre dont je voulais parler, que les deux tranches voisines de la tranche intermédiaire restaient en repos pendant que celle-ci glissait sur elle-même. Il est clair que les choses ne se passent pas de cette manière, et qu'une tranche ne peut pas se déplacer sans mettre en mouvement les tranches voisines. La rapidité plus ou moins grande avec laquelle le mouvement se propage, dépend de l'énergie de la force accélératrice qui tend à ramener les tranches contiguës dans les mêmes positions relatives et des masses de ces tranches, comme la vitesse de propagation des ondes sonores de l'air (telles qu'on les conçoit ordinairement) dépend du rapport entre sa densité et la résistance qu'il oppose à la compression. Il est évident qu'on peut appliquer à ces nouvelles oscillations perpendiculaires aux rayons les mêmes raisonnemens et les mêmes calculs qu'à celles où le mouvement oscillatoire s'exécute suivant les directions de propagation. Le principe des interférences et toutes les conséquences que M. Young en a déduites pour expliquer plusieurs phénomènes d'optique, ainsi que les formules au moyen desquelles j'ai représenté les lois de la diffraction, s'accordent aussi bien avec cette nouvelle hypothèse sur la lumière qu'avec celle que j'avais adoptée d'abord.

Après avoir fait sentir la possibilité de pareilles vibrations dans un fluide, il me reste à expliquer comment il peut arriver que ses molécules n'éprouvent d'oscillations sensibles que suivant la surface même des ondes, perpendiculairement aux rayons. Il suffit pour cela de supposer entre les molécules une loi de répulsion telle que la force qui s'oppose au rapprochement de deux tranches du fluide soit beaucoup plus grande que celle qui s'oppose au glissement de l'une d'elles, par rapport à l'autre, et d'admettre ensuite que les oscillations du petit corps solide qui mettent le fluide en vibra-

tion, ont des vitesses absolues infiniment moindres que la vitesse avec laquelle les condensations et les dilatations se transmettent dans le fluide. Et en effet, si l'on suppose que l'égalité de tension s'y rétablit avec une rapidité extrême, en raison de la grande résistance qu'il oppose à la compression, on conçoit que pendant la marche beaucoup plus lente du petit corps oscillant, l'équilibre de pression se rétablira à chaque instant autour de ce corps entre la partie contiguë du fluide qu'il tend à condenser en s'en rapprochant, et la partie située du côté opposé qu'il tend à dilater en s'en éloignant ; d'où l'on voit que les principaux mouvemens des molécules consisteront dans une sorte de circulation oscillatoire autour du petit solide oscillant. Ce mouvement se communiquera de proche en proche à toutes les couches concentriques, en s'affaiblissant et se régularisant à mesure qu'il s'éloignera du centre d'ébranlement, et à une petite distance il n'y aura plus de déplacement sensible des molécules éthérées que dans le sens même de la surface des ondes. Telle est, à mon avis, l'idée qu'il faut se faire de la nature des ondes lumineuses, pour se rendre compte des différens phénomènes qu'elles présentent, particulièrement dans la polarisation et la double réfraction.

Je dois dire ici qu'un article d'une lettre de M. Young, en date du 29 avril 1818, qui m'avait été communiqué par M. Arago, a contribué à me faire douter de l'existence des oscillations longitudinales. M. Young concluait des propriétés optiques des cristaux à deux axes découvertes par M. Brewster, que les ondulations de l'éther pourraient bien ressembler à celles d'une corde tendue d'une longueur indéfinie, et se propager de la même manière. Il y a sans doute une grande analogie entre cette définition des ondes lumineuses, et celle que je viens d'en donner. Mais je ne crois pas que M. Young ait fait voir comment on pouvait concilier une pareille dé-

pendance mutuelle des molécules de l'éther avec sa fluidité, et y concevoir la production de ces ondulations à l'exclusion des oscillations dirigées suivant la ligne de propagation. Or, c'était la difficulté qui m'avait embarrassé jusqu'à présent, et m'avait empêché de m'arrêter à ma première idée. Je dois convenir néanmoins que s'il ne l'a pas expliquée, M. Young est le premier qui ait énoncé positivement la possibilité d'une telle propriété dans un fluide élastique. J'ignore si ce savant physicien a publié ses vues sur ce sujet, et si même elles sont bien arrêtées dans son esprit; mais j'ai pensé que la publicité que je leur donne ici ne saurait lui être désagréable.

Si la polarisation d'un rayon lumineux consiste en ce que toutes ses vibrations s'exécutent suivant une même direction, il résulte de mon hypothèse sur la génération des ondes lumineuses, qu'un rayon émanant d'un seul centre d'ébranlement se trouve toujours polarisé suivant un certain plan, à un instant déterminé. Mais un instant après, la direction du mouvement change, et avec elle le plan de polarisation; et ces variations se succèdent aussi rapidement que les perturbations des vibrations de la particule éclairante; en sorte que lors même qu'on pourrait séparer la lumière qui en émane de celle des autres points lumineux, on n'y reconnaîtrait sans doute aucune apparence de polarisation. Si l'on considère maintenant l'effet produit par la réunion de toutes les ondes qui émanent des différens points d'un corps éclairant, on sentira qu'à chaque instant, et pour un point déterminé de l'éther, la résultante générale de tous les mouvemens qui s'y croisent aura une direction déterminée, mais que cette direction variera d'un instant à l'autre. Ainsi la lumière directe peut être considérée comme la réunion, ou plus exactement comme la succession rapide de systèmes d'ondes polarisés suivant toutes les directions. D'après cette manière d'envisager les choses, l'acte de la polarisation ne

consiste plus à créer ces mouvemens transversaux, mais à les décomposer suivant deux directions rectangulaires invariables et à séparer les deux composantes l'une de l'autre; car alors, dans chacune d'elles, les mouvemens oscillatoires s'opéreront toujours suivant le même plan.

Appliquons ces idées à la double réfraction, et concevons un cristal à un axe comme un milieu élastique dans lequel la force accélératrice qui résulte du déplacement d'une file de molécules perpendiculaires à l'axe, relativement aux rangées contiguës, est la même tout autour de l'axe; tandis que les déplacemens parallèles à l'axe produisent des forces accélératrices d'une intensité différente, plus fortes si le cristal est répulsif (pour me servir de l'expression usitée), et plus faibles s'il est attractif (1). Le caractère distinctif des rayons qui éprouvent la réfraction ordinaire étant de se propager avec la même vitesse suivant toutes les directions, il faut admettre que leurs mouvemens oscillatoires s'exécutent perpendiculairement au plan mené par ces rayons et l'axe du cristal; car alors les déplacemens qu'ils occasionent s'effectuant toujours suivant des directions perpendiculaires à l'axe développeront toujours, par hypothèse, les mêmes forces accélératrices. Mais, d'après le sens qu'on attache à l'expression *plan de polarisation*, le plan dont nous venons de parler est précisément le plan de polarisation des rayons ordinaires; ainsi,

---

(1) Je suppose les particules du cristal et les intervalles qui les séparent infiniment petits par rapport à la longueur d'une ondulation lumineuse, et je considère ici ces particules et l'éther qui les environne comme formant ensemble un milieu homogène. Cette conception mathématique, qui n'est pas applicable aux corps opaques ou imparfaitement transparens, peut représenter cependant, dans beaucoup de cas, les effets mécaniques des milieux diaphanes sur la lumière avec une approximation suffisante.

dans un faisceau polarisé, le mouvement oscillatoire s'exécute perpendiculairement à ce qu'on appelle *le plan de polarisation.*

Les oscillations des rayons ordinaires étant perpendiculaires au plan mené par l'axe, les oscillations des rayons extraordinaires seront parallèles à ce plan, et, bien entendu, toujours perpendiculaires aux rayons. On voit alors qu'à mesure qu'ils changeront d'inclinaison relativement à l'axe, la direction du mouvement oscillatoire en changera aussi : il sera parallèle à l'axe quand les rayons lui seront perpendiculaires, et perpendiculaire à l'axe quand les rayons lui seront parallèles ; ainsi, dans ce dernier cas, la vitesse de propagation des rayons extraordinaires sera la même que celle des rayons ordinaires. Mais pour toutes les autres directions de ceux-là, les petits dérangemens des files de molécules ne s'exécutant plus perpendiculairement à l'axe, les forces accélératrices qui en résultent, et par suite la vitesse de propagation, ne peuvent plus être les mêmes. Cette différence augmente progressivement jusqu'à ce que le mouvement oscillatoire soit parallèle à l'axe : c'est alors qu'elle atteint son *maximum.*

Considérons ce cas particulier, pour simplifier les idées, et supposons qu'on expose perpendiculairement au rayon incident une plaque cristallisée parallèle à l'axe, en sorte que les rayons qui la traversent soient perpendiculaires à ce dernier ; supposons en outre que le faisceau incident soit polarisé suivant un plan déterminé faisant un angle i avec la section principale du cristal ; ses oscillations seront perpendiculaires à ce plan. Cela posé, on peut, en raison du principe de la composition et de la décomposition des petits mouvemens, concevoir chacune des vitesses d'oscillation des ondes incidentes décomposée en deux autres, l'une perpendiculaire et l'autre parallèle à la section principale ; les premières composantes produiront les ondes ordinaires, et les autres celles qui éprouvent la réfraction extraordinaire. Or, si l'on

prend pour unité le facteur commun qui multiplie toutes les vitesses d'oscillation des diverses couches de l'onde qui entre dans le cristal, cos i sera le facteur commun des premières composantes ou leur intensité de vitesse absolue, et sin i celle des autres composantes; et les intensités de lumière étant proportionnelles aux forces vives, les intensités de lumière des rayons ordinaires et extraordinaires seront entre elles comme $\cos^2 i$ est à $\sin^2 i$. Voilà une explication mécanique bien simple de la loi de Malus. Les oscillations de ces deux systèmes d'ondes, étant rectangulaires, s'exécuteront dans le cristal d'une manière indépendante; et en raison de la différence d'énergie des forces accélératrices qui résultent des petits déplacemens des molécules du milieu parallèlement ou perpendiculairement à l'axe, les deux systèmes d'ondes se propageront avec des vitesses différentes, et la distance entre leurs points correspondans deviendra d'autant plus considérable qu'ils auront traversé une plus grande épaisseur de cristal.

Si c'est de la lumière directe qu'on fait tomber sur le cristal, on pourra appliquer aux divers systèmes d'ondes polarisés dont elle se compose, ce que nous venons de dire pour un seul. Chacun se divisera de la même manière en ondes ordinaires et ondes extraordinaires, dont les intensités seront en général différentes. Mais comme, en raison de la multitude des chances, il doit se trouver en somme autant de lumière polarisée suivant un plan quelconque que suivant le plan perpendiculaire, les rayons ordinaires et extraordinaires auront la même intensité.

Je ne m'arrêterai pas à expliquer en détail, d'après cette nouvelle idée sur les vibrations lumineuses, les propriétés que nous avons découvertes, M. Arago et moi, dans les rayons polarisés. On conçoit pourquoi des rayons polarisés à angle droit ne peuvent plus s'influencer, c'est-à-dire, produisent

toujours par leur réunion la même intensité de lumière, quelle que soit la différence des chemins parcourus, puisque, en vertu de la perpendicularité de leurs oscillations, le carré de la résultante des deux vitesses absolues imprimées à chaque point de l'éther est toujours égal à la somme des carrés de ses deux composantes, et qu'ainsi la somme des forces vives du système d'ondes résultant est toujours égale à la somme des forces vives réunies des deux composans, quelle que soit la différence de chemins parcourus. Il est également facile de concevoir la raison de la règle que j'ai donnée dans le calcul des teintes produites par les lames cristallisées, pour savoir quand on doit ajouter une demi-ondulation à la différence des chemins parcourus en raison des changemens des plans de polarisation.

J'aurais desiré faire voir avec quelque détail, par la composition des mouvemens oscillatoires en chaque point, comment les deux systèmes d'ondes de lumière simple qui sortent d'une lame cristallisée donnent réellement, *par leur réunion*, un système d'ondes polarisé suivant le plan primitif de polarisation, quand la différence des chemins parcourus est *zéro* ou un nombre pair de demi-ondulations, et polarisé dans l'azimut $2i$ quand cette différence est égale à un nombre impair de demi-ondulations; pourquoi la lumière totale ne présente qu'une polarisation partielle dans les cas intermédiaires, et paraît même entièrement dépolarisée lorsque la différence des chemins parcourus étant égale à un nombre entier et impair de quarts d'ondulation, la section principale de la lame est à 45° du plan primitif (1). Mais il me paraît

(1) Une conséquence remarquable de la composition des oscillations dans ce dernier cas, c'est que, dans le système d'ondes résultant, les molécules éthérées, au lieu d'osciller, tournent chacune autour de leurs positions d'équilibre avec une vitesse uniforme.

plus nécessaire d'employer le peu d'espace qui me reste à dire un mot des formules d'intensité de la lumière réfléchie obliquement sur les corps transparens, auxquelles je viens d'être conduit par les mêmes idées théoriques.

On peut toujours décomposer la lumière directe incidente qui vient tomber sur la surface réfléchissante en deux faisceaux d'égale intensité, polarisés, l'un suivant le plan de réflexion, et l'autre perpendiculairement à ce plan. Je n'ai encore trouvé de formule générale que pour la réflexion du premier. Mais il est aisé de déterminer le rapport d'intensité entre les deux faisceaux par la simple déviation du plan de polarisation d'un rayon primitivement polarisé dans l'azimut de 45°, et réfléchi sous la même incidence que le faisceau de lumière directe; car le système d'ondes polarisé dans l'azimut de 45° peut se diviser en deux autres systèmes d'ondes d'égale intensité et polarisés, l'un suivant le plan de réflexion et l'autre perpendiculairement à ce plan, qui seront réfléchis en proportions inégales par le corps transparent; et ces proportions sont précisément les mêmes que pour les deux faisceaux qui composent la lumière ordinaire : or, si l'on représente par 1 l'intensité du système d'ondes après sa réflexion, les intensités de lumière de ses deux composans seront en général représentées par $\sin^2 s$ et $\cos^2 s$, et il est aisé de voir que l'angle s sera précisément l'azimut du plan de polarisation du système d'ondes réfléchi. Si donc on a déterminé l'angle s par expérience pour l'incidence particulière dont on s'occupe, et que l'on connaisse la quantité de lumière réfléchie du faisceau polarisé suivant le plan d'incidence, il suffira de la multiplier par $\tang^2 s$ pour avoir l'autre faisceau réfléchi. Je vais faire voir maintenant comment on peut calculer l'intensité de la lumière réfléchie sous une incidence quelconque pour le faisceau polarisé suivant le plan de réflexion.

Ce qui rend ce calcul facile, c'est que les oscillations étant alors perpendiculaires au plan de réflexion, ont la même direction dans le faisceau incident, le faisceau réfléchi et le faisceau réfracté. Soit m la masse d'un élément différentiel du premier milieu, qui, en glissant sur lui-même, met en mouvement l'élément différentiel contigu m' du milieu réfléchissant, que je suppose de même élasticité. Dans le premier instant, m' était en repos, et m avait une vitesse v; un instant après, les deux élémens ont la même vitesse, et c'est alors que s'arrête le déplacement du premier par rapport au second; mais, en raison du déplacement effectué, le premier doit recevoir après, en sens contraire, toute la partie de la vitesse initiale qu'il a perdue (1). A l'instant dont nous venons de parler, la vitesse commune des deux élémens était :

$$\frac{mv}{m+m'};$$

donc la vitesse perdue par m est :

$$v - \frac{mv}{m+m'}, \text{ ou } \frac{m'v}{m+m'};$$

et par conséquent la vitesse définitive de m sera :

$$v\left(\frac{m-m'}{m+m'}\right).$$

Si donc on prend pour unité l'intensité des vitesses absolues dans l'onde incidente,

$$\frac{m-m'}{m+m'}$$

représentera l'intensité d'oscillation dans l'onde réfléchie, et

$$\left(\frac{m-m'}{m+m'}\right)^2$$

(1) Ce raisonnement abrégé, que j'emprunte à M. Young et qui ne présente qu'un équivalent de ce qui se passe, a été vérifié dans ses conséquences, pour un cas analogue, par l'analyse rigoureuse de M. Poisson.

son intensité de lumière (1). Il ne s'agit donc plus, pour résoudre le problême, que de déterminer les rapports des masses m et m' des élémens différentiels des ondes incidentes et réfractées qui s'ébranlent mutuellement dans les deux milieux.

Pour cela, il faut faire attention que chaque onde réfractée étant produite par chaque onde incidente, si on les conçoit divisées en un même nombre de couches infiniment minces, chaque couche élémentaire de l'onde réfractée sera la partie du second milieu ébranlée par la tranche correspondante de l'onde incidente; ainsi les épaisseurs des élémens des deux milieux qui se communiquent l'ébranlement, mesurées suivant la direction des rayons, sont dans le même rapport que les longueurs d'ondulation, c'est-à-dire,

---

(1) Il est à remarquer que lorsque m' est plus grand que m, c'est-à-dire, quand le second milieu est plus réfringent que le premier, cette expression de la vitesse d'oscillation des rayons réfléchis est de signe contraire à celle des rayons incidens; en sorte qu'au point de départ, les oscillations des premiers se feront de leur gauche à leur droite, par exemple, lorsque celles des rayons incidens se feront de droite à gauche; ce qui équivaut à la différence d'une demi-ondulation que l'expérience m'avait présentée. Ainsi, la difficulté qui en résultait quand on supposait la direction des vibrations lumineuses parallèle aux rayons, n'existe plus avec la nouvelle hypothèse; et l'on peut considérer maintenant la réflexion comme provenant de la différence de densité des deux milieux composés de leurs molécules propres et de celles de l'éther, sans être conduit à des conséquences contraires aux faits. Il est possible que les choses ne se passent point rigoureusement ainsi, et que cependant cette conception mécanique représente la plupart des propriétés optiques des *corps transparens* avec une exactitude suffisante. Le phénomène de la dispersion peut même s'expliquer sans abandonner cette conception mécanique, et en supposant seulement que la dépendance mutuelle des molécules du milieu s'étend à des distances sensibles relativement à la longueur des ondes lumineuses; car il en résulte que la vitesse de propagation doit diminuer un peu avec la longueur d'ondulation.

dans le rapport de sin i à sin i', en représentant par i et i' les angles d'incidence et de réfraction. Il ne nous reste donc plus, pour avoir les rapports de leurs volumes, qu'à déterminer leurs largeurs relatives. Concevons deux rayons incidens parallèles et les mêmes rayons réfractés; les ondes comprises entre les rayons incidens occuperont après la réfraction tout l'espace compris entre les rayons réfractés; ainsi, la largeur de l'élément du premier milieu qui communique l'ébranlement à l'élément du second, sera à la largeur de celui-ci comme la distance entre les deux rayons incidens est à la distance entre les deux rayons réfractés, ou comme cos i est à cos i'. Multipliant ce nouveau rapport par le premier, nous aurons:

$$\frac{\sin i \cos i}{\sin i' \cos i'},$$

qui sera le rapport entre les volumes des deux élémens. Je fais abstraction ici de la dimension perpendiculaire au plan de réflexion, qui est la même dans les ondes incidentes et réfractées. Maintenant, pour avoir les masses m et m', il faut multiplier les volumes par les densités des milieux : or, en considérant la différence de vitesse de propagation de la lumière dans les deux milieux, comme résultant de leur différence de densité, leurs densités doivent être en raison inverse des carrés de ces vitesses; ainsi, la densité du premier est à la densité du second comme $\sin^2 i'$ est à $\sin^2 i$. Multiplions ce rapport des densités par celui des volumes, et nous aurons le rapport des masses m et m', qui sera :

$$\frac{\sin i' . \cos i}{\sin i . \cos i'} \text{ ou } \frac{\tang i'}{\tang i};$$

ainsi, m étant représenté par tang i', tang i représentera m'. Si nous substituons ces valeurs dans la formule :

$$\left(\frac{m-m'}{m+m'}\right)^2,$$

nous aurons pour l'expression de l'intensité de la lumière réfléchie :

$$\left(\frac{\text{tang}\, i - \text{tang}\, i'}{\text{tang}\, i + \text{tang}\, i'}\right)^2,$$

à l'aide de laquelle on peut calculer *à priori*, sous une incidence quelconque, la proportion de lumière réfléchie par un milieu diaphane dont le pouvoir réfringent est connu, lorsque la lumière incidente est toute polarisée, suivant le plan de réflexion.

Je n'ai pas encore vérifié directement cette formule sur des mesures d'intensité faites dans le même cas, ne connaissant que des résultats obtenus avec la lumière ordinaire. Heureusement qu'à l'aide de la déviation du plan de polarisation observée sous la même incidence, on peut calculer le rapport d'intensité entre la lumière réfléchie du faisceau polarisé suivant le plan de réflexion, et la lumière réfléchie du faisceau polarisé perpendiculairement à ce plan, comme nous l'avons vu précédemment, et déduire ainsi la seconde intensité de la première. C'est le procédé indirect que j'ai suivi pour vérifier ma formule sur deux résultats précieux des observations de M. Arago, qu'il a eu la bonté de me communiquer. Il a trouvé qu'une glace non étamée à faces parallèles réfléchissait autant de lumière qu'elle en laissait passer lorsqu'elle était inclinée sur les rayons de 11°.23'; c'est la moyenne de quatre observations faites avec beaucoup de soin, et dont les plus grandes variations n'étaient guère que d'un tiers de degré, malgré la différence des procédés. Il a trouvé de même que deux glaces pareilles laissent passer autant de lumière qu'elles en réfléchissent lorsqu'elles sont inclinées de 16°. 58'. C'est aussi la moyenne de quatre observations, mais entre deux desquelles il y avait presque un degré de différence. En mesurant, sous les mêmes incidences, la déviation du plan de polarisation d'un rayon polarisé dans l'azimut de 45°, j'ai

trouvé pour le nouvel azimut s, dans le premier cas, 31°45′, et dans le second 24° 30′. J'ai supposé que le rapport de réfraction des plaques de verre employées par M. Arago était 1,51, qui est celui de la plupart des glaces de Saint-Gobin. D'après cette hypothèse, qui ne doit guère s'écarter de la réalité, j'ai calculé la valeur de l'angle de réfraction i' pour chacune des deux incidences, et substituant la valeur de tang i et tang i' dans la formule, j'ai trouvé, dans le premier cas, 0,4994, et dans le second 0,3604, pour la proportion de lumière réfléchie par une seule surface, lorsque le faisceau incident est polarisé suivant le plan de réflexion. Considérons d'abord le premier cas, celui où la lumière est réfléchie par les deux surfaces d'une seule plaque. Si l'on représente par 2 l'intensité de toute la lumière directe qui vient tomber sur la plaque, celle de chacun des deux faisceaux polarisés à angle droit, dans lesquels nous la divisons, est égale à 1, et la somme des rayons réfléchis à la première surface est 0,4994 pour le faisceau polarisé suivant le plan d'incidence : en multipliant ce nombre par $\text{tang}^2\, 31°,45'$, nous aurons pour la portion de lumière réfléchie du second faisceau 0,1912. Cela posé, on trouve, pour chacun des deux faisceaux, en sommant une progression géométrique, que si n représente la lumière réfléchie à la première surface, et m la lumière transmise, de sorte que $m + n = 1$, la somme totale des réflexions en nombre infini que la seconde surface de la plaque ajoute à celle de la première est égale à

$$\frac{m \,.\, n}{1 + n}.$$

Appliquant cette formule au premier faisceau, pour lequel $n = 0,4994$ et $m = 0,5006$, on trouve 0,1667, qui, ajouté à 0,4994, donne 0,6661. On obtient de la même manière, pour la totalité de lumière réfléchie du second faisceau,

0,3211 : or, ces deux nombres réunis donnent 0,9872, qui ne diffère que d'un centième environ de la moitié de la lumière incidente, que j'ai supposée égale à 2.

En multipliant, dans le second cas, par $tang^2\ 24^\circ 30'$, le nombre 0,3604, qui est la portion de lumière réfléchie du faisceau polarisé suivant le plan d'incidence sur la première surface, on a, pour le second faisceau, 0,0748. Avec ces deux données, on peut aisément calculer, par de simples progressions géométriques, la somme de lumière résultant de toutes les réflexions que produisent les quatre surfaces des deux plaques, et l'on trouve de cette manière, pour la totalité de la lumière réfléchie du premier faisceau, 0,6926, et pour le second 0,2444, qui, ajoutés ensemble, font 0,9370. On voit que ce nombre ne diffère guère que de 6 centièmes de la moitié de la lumière incidente.

La table de Bouguer m'offrait des cas plus simples et des incidences plus variées; mais M. Arago m'ayant averti qu'elle était très-inexacte, j'ai jugé inutile de la comparer à la théorie.

Observations *sur le Mémoire de M.* Berzelius *relatif à la composition des prussiates ou hydrocyanates triples.*

Par M. Robiquet.

Il résultait des recherches de M. Porrett, et de ce que j'avais publié moi-même en 1820, que les prussiates triples étaient le produit de la combinaison d'une base et d'un acide particulier dont le fer à l'état métallique était un des élémens. Cependant, tout en étant d'accord sur

cette idée fondamentale, nous différions essentiellement sur les proportions relatives des principes de cet acide. M. Porrett, après avoir beaucoup varié sur sa composition, le regardait, en dernière analyse, comme formé de la réunion de 1 atome d'acide prussique, 2 atomes de carbone et 1 atome de fer ; tandis que, d'après mes expériences, on devait le regarder comme une combinaison contenant les élémens de l'acide hydro-cyanique et du cyanure de fer, de la même manière que l'on conçoit que l'alcool est formé d'eau et d'hydrogène per-carboné. J'avais déduit comme conséquence de cette manière d'envisager cet acide, que les prussiates triples pouvaient eux-mêmes être considérés comme une double combinaison d'un hydro-cyanate variable pour les divers prussiates, et du cyanure de fer constant pour tous. M. Berzelius vient de publier un Mémoire très-étendu dans lequel il s'attache particulièrement à réfuter l'existence de cet acide. Les expériences analytiques très-multipliées qu'il a faites, pour déterminer la composition des prussiates triples, l'ont conduit à admettre qu'ils étaient tous formés de 1 atome de cyanure de fer et de 2 atomes de cyanure d'un autre métal.

L'autorité de M. Berzelius a produit sur moi l'effet qu'elle devait produire, et j'ai resté d'autant plus convaincu que j'avais fait erreur, que cet illustre savant ne cherche qu'à combattre l'opinion de M. Porrett, et qu'il ne fait aucune mention des expériences sur lesquelles j'avais basé ma manière de voir. Cependant, comme on avait ici jugé plus favorablement de mon travail, j'ai été entraîné, malgré mon extrême défiance de moi-même, à faire quelques nouveaux efforts pour justifier l'opinion

qu'on en avait conçue. Je sens tout le désavantage qu'il y a pour moi à annoncer des idées et des résultats qui ne s'accordent pas toujours avec ceux de M. Berzelius. Quoi qu'il en soit, je me hasarderai à soumettre quelques réflexions, et je suis persuadé que le célèbre académicien de Stockholm sera le premier à les approuver si je suis assez heureux pour qu'il en reconnaisse la justesse.

Le but essentiel du travail de M. Berzelius est d'établir que le produit acide que nous avons obtenu, M. Porrett et moi, en décomposant les prussiates triples, n'est point un acide particulier, et que ce n'est autre chose qu'un hydro-cyanate acide de protoxide de fer; de sorte que cet hydro-cyanate, en se combinant avec une autre base, forme un hydro-cyanate double susceptible de se convertir, par la simple dessiccation, en un double cyanure. J'examinerai d'abord la chose sous le point de vue le plus général, c'est-à-dire, relativement à l'existence de cet acide, et je discuterai ensuite les conséquences qu'on en peut déduire.

« L'idée d'après laquelle le fer serait un élément de » l'acide, dit l'auteur, m'a toujours paru analogue à celle » de regarder la potasse dans la crême de tartre comme » un élément de l'acide dans le sel de Seignette ou » dans le tartre émétique. » J'avoue que je ne vois pas comment on peut comparer ces deux produits ; car l'acide tartrique, au lieu de recevoir aucune énergie ni faculté neutralisante de la combinaison avec cette portion de potasse qui forme la crême de tartre, éprouve au contraire une diminution de ses qualités acides, par ce commencement de saturation ; tandis que l'acide

prussique, qu'on devrait peut-être cesser de considérer comme un acide, recevrait, par l'addition d'une certaine quantité de protoxide de fer, non pas comme dans le cas précédent, une diminution de ses propriétés acides, qui déjà sont portées au moindre degré; mais bien, au contraire, une exaltation telle que ses qualités acides deviennent très-manifestes, qu'il cesse d'être vénéneux, et qu'il acquiert, par cette addition même, la faculté saturante au plus haut point. En supposant même qu'on dût cesser de l'admettre comme tout formé dans les prussiates triples, son existence comme acide isolé n'en serait pas moins réelle et ne saurait être révoquée en doute. Cependant M. Berzelius pense, avons-nous dit, que ce produit acide n'est autre qu'une combinaison de protoxide de fer et d'acide hydro-cyanique en excès, et il prétend que quand on fait réagir un acide énergique sur un prussiate triple, cet acide employé soustrait la seconde base, tandis que l'acide hydro-cyanique concentre toute son action sur l'oxide de fer pour former un hydro-cyanate acide ferrugineux. Mais comment pourra-t-on s'imaginer qu'un acide aussi faible que l'acide prussique, et qui ne peut neutraliser aucune portion de base alcaline, se comporte d'une manière toute opposée avec le protoxide de fer, et devienne susceptible de s'unir si intimement avec cette base, que non-seulement il peut la neutraliser, mais en outre constituer avec elle une combinaison dans laquelle la propriété acide est beaucoup plus développée que dans l'acide primitif; tandis que toutes les autres qualités si tranchées de cet acide sont, pour ainsi dire, éteintes? D'après M. Berzelius, il faudrait admettre qu'un liquide fragrant,

délétère au dernier point, et qui se décompose avec la plus grande facilité, devient tout-à-coup, par ce commencement de saturation, un corps très-fixe, cristallisable, qu'on peut manier et goûter impunément, d'une acidité franche et bien prononcée, capable désormais de saturer toutes les bases alcalines, et de ne laisser éliminer par aucune cette portion de fer oxidé qu'il avait entraînée en combinaison. De semblables résultats, il faut en convenir, sont tellement contraires à tout ce qu'on connaît, qu'il faut qu'ils aient été énoncés par M. Berzelius, pour ne pas être rejetés au premier abord; mais quand il s'agit de combattre des idées accréditées par un homme d'un mérite aussi éminent, on ne saurait accumuler trop de preuves, et bien que les raisons que je viens d'exposer pourraient peut-être paraître assez plausibles, je vais néanmoins continuer la discussion et m'étayer de quelques autres considérations générales.

Si on ne pouvait décomposer les prussiates triples et soustraire la base variable qu'à l'aide des acides énergiques, comme le fait observer M. Berzelius, peut-être serait-il assez naturel de penser que l'acide prussique doit se reporter sur l'autre base pour former un prussiate acide; cela supposerait cependant que le fer y est à l'état d'oxide, et c'est ce qui est bien loin d'être prouvé; mais ce moyen de décomposition n'est pas le seul dont nous puissions disposer, et il serait peut-être un peu difficile à M. Berzelius lui-même de faire cadrer avec sa manière de voir celui que je vais indiquer. On sait que, dans le bleu de Prusse, la portion de fer qui remplace la base variable y est à l'état de peroxide; mais si on met cette combinaison en contact pendant un temps

suffisant avec de l'eau hydro-sulfurée, il y a désoxigénation partielle de l'oxide, et cette rétrogradation de l'oxide ne peut avoir lieu sans une diminution relative de sa capacité de saturation, et par conséquent aussi sans qu'il y ait une quantité proportionnelle d'acide de mise en liberté. Si les choses sont telles que M. Berzelius le conçoit, c'est de l'acide hydro-cyanique seulement qui devrait être séparé dans ce cas; tandis qu'au contraire, c'est cet acide ferro-cyanique dont nous avons fait mention. D'ailleurs, si on ne voulait pas admettre cet acide, comment expliquerait on la présence du peroxide de fer dans le bleu de Prusse. Pourra-t-on raisonnablement supposer qu'un tritoxide dont l'affinité pour les acides est presque nulle puisse être néanmoins combiné aussi irrésistiblement avec un acide sans énergie, et qui ne peut saturer la moindre quantité d'une base alcaline? A la vérité, M. Berzelius prétend que le bleu de Prusse est un sous-sel, ou du moins qu'il contient un excès d'oxide. Il en serait ainsi, que cela ne déciderait pas la question; mais voyons néanmoins si la manière dont M. Berzelius prétend établir que cette combinaison est comparable aux sous-sels, est assez nette, pour qu'on ne puisse pas l'attaquer. « J'ai ajouté, dit M. Berzelius, » une dissolution de deutoxide de fer neutre à une dis- » solution de prussiate de potasse, et j'ai laissé le mé- » lange exposé à l'air, jusqu'à ce qu'il devînt bleu. Le » liquide qui contenait encore du cyanure non décom- » posé garda la neutralité, ce qui fournit la preuve qu'il » n'y avait pas de potasse mise à nu, et que, par consé- » quent, la combinaison bleue n'avait pas pris une » quantité d'acide proportionnelle à la capacité de sa

» base, qui venait d'augmenter par l'oxidation. » Je ne pense pas qu'il en soit ainsi, et je me fonde principalement sur le genre de combinaison qu'on obtient quand on précipite une dissolution de protoxide de fer par du prussiate triple de potasse. Il est constant que, dans ce cas, une portion de l'alcali fait partie du précipité insoluble qui s'est formé. Il est également certain que cet alcali est permanent et qu'il résiste même à l'action des acides, tant qu'il n'arrive pas de changement dans l'oxidation du fer; mais à mesure que celui-ci passe au *maximum* d'oxidation, et que cette mutation est favorisée par la présence d'un acide, alors, à mesure que le fer passe à l'état de peroxide, l'acide enlève une quantité relative de potasse, et la neutralité se maintient dans le précipité; c'est en cela, comme je l'ai indiqué précédemment dans mes *Recherches sur le bleu de Prusse*, que l'addition d'un acide est utile dans cette fabrication : ainsi, je crois que tant que le fer n'a pas encore passé au *summum* d'oxidation, le précipité retient toujours une quantité proportionnelle d'alcali, et que la perfection du bleu de Prusse consiste principalement dans la complète sur-oxidation du fer et dans la soustraction totale de la potasse; résultat que l'on n'obtient que par le double concours de l'oxigène et d'un acide; autrement on n'obtient pas du bleu de Prusse proprement dit, et cela est si vrai, que celui de M. Berzelius, formé avec une dissolution de deutoxide de fer et par un simple lavage à l'eau distillée, n'a point atteint, malgré l'exposition au contact de l'air, les qualités du bleu de Prusse ordinaire, et en effet : « Le bleu » de Prusse ainsi préparé, dit M. Berzelius, jouit » de propriétés qu'il ne possède pas quand il est pré-

» paré autrement ; il est soluble dans l'eau pure, » etc., etc. »

D'ailleurs, comment admettre que le bleu de Prusse contienne un excès d'oxide, puisque, quand on le traite par les acides les plus énergiques et les plus concentrés, on le précipite entièrement, et sans soustraction d'aucune portion d'oxide, par la seule addition de l'eau distillée. Si, après avoir broyé du bleu de Prusse avec de l'acide sulfurique concentré, on laisse déposer, et qu'on décante ensuite la portion d'acide qui surnage, on n'y retrouve aucune trace de fer ; à la vérité, il n'en est pas ainsi avec de l'acide muriatique ; mais aussi le résidu contient-il, dans ce cas, un excès d'acide ferro-cyanique, puisque c'est par ce procédé que je suis parvenu à séparer l'acide du bleu de Prusse.

Si je ne m'abuse pas, tout ce que je viens de rapporter tend à confirmer l'existence de l'acide des prussiates, tel que je l'avais conçu, et je ne pense pas que désormais on puisse la révoquer en doute.

Mais les résultats obtenus par M. Berzelius peuvent-ils s'accorder avec l'existence de cet acide ? Je ne vois rien qui s'y oppose. Puisque l'hydrogène est un de ses élémens, et qu'il devra nécessairement se comporter comme tout autre hydracide, c'est-à-dire que les raisonnemens qu'on fait à l'égard des chlorures et des hydro-chlorates lui seront entièrement applicables. En effet, quand l'acide ferro-cyanique se combine avec une base, ne pourra-t-il pas arriver, suivant la nature de cette base, que son oxigène se réunisse avec l'hydrogène de l'acide, et que cette soustraction donne pour produit une combinaison représentée par les élémens du cyanure de fer

et par ceux de l'autre base, de manière que l'analyse de cette combinaison n'offrira que du cyanogène et des radicaux? Cette transformation des ferro-cyanates en cyanures doubles n'a pas lieu, nous n'en doutons pas, pour toutes les bases, et le bleu de Prusse lui-même en est un exemple bien frappant, puisque, quelque desséché qu'il soit, il offre toujours des produits hydrogénés parmi les produits de sa calcination en vaisseaux clos.

Après ces premières observations, je demanderai la permission de citer quelques expériences, dont les résultats semblent conduire à des idées différentes de celles adoptées par M. Berzelius, et qui, examinées de plus près, ont servi à me faire acquérir une entière conviction à cet égard.

D'après M. Berzelius, du prussiate triple de potasse exposé pendant un temps suffisant à une température de 60°, perd toute la portion d'eau qui le constitue par les élémens à l'état d'hydro-cyanate, et se convertit en un cyanure double de potassium et de fer. Soumis à l'action d'une chaleur plus intense, ce sel se fond, donne du gaz azote provenant de la décomposition d'une petite portion de cyanure de fer, et le résidu dissous dans l'eau est alcalin. Il répand une odeur prussique, et sa solution dans l'eau conserve encore une couleur jaune très-intense; enfin il se sépare, pendant cette solution, des flocons noirs qui sont du quadri-carbure de fer. J'ai répété plusieurs fois cette expérience, et, sans rien préjuger quant à présent sur le fond de la question, j'ai vu en effet qu'en desséchant ce sel au bain-marie, il perdait constamment 13 pour cent de son poids, sans qu'il y eût aucun dégagement de fluides élastiques; mais en soumettant ce

prussiate supposé anhydre à une température plus élevée et plus long-temps soutenue que ne l'a fait M. Berzelius, j'ai obtenu une décomposition complète du cyanure de fer contenu dans cette combinaison. J'ai introduit 100 grammes de prussiate anhydre dans une petite cornue de grès, à laquelle j'ai adapté un ajustage pour recueillir les produits liquides et gazeux. On a chauffé graduellement, et il s'est dégagé du gaz presque dès le commencement de l'opération ; ce dégagement a continué sans interruption pendant près de cinq heures. Il est même arrivé une époque où, sans avoir augmenté sensiblement la chaleur, il s'est dégagé une si grande quantité de fluides élastiques, qu'il était de toute impossibilité de suffire à les recueillir, et qu'on a été obligé de boucher toutes les issues du fourneau, afin de ralentir cette émission si rapide, qu'elle faisait craindre pour la rupture des vases. J'ai analysé une portion des gaz obtenus à diverses époques, et sans rapporter ici les résultats de toutes les analyses, je dirai seulement qu'on y retrouvait de l'ammoniaque, de l'acide carbonique, de l'acide prussique, du gaz oxide de carbone et de l'hydrogène carboné en proportions très-variables, et, à dire vrai, en trop petite quantité pour servir de preuve réelle à l'existence de l'acide ferro-cyanique. Il est plus probable que ces produits sont dus à une portion d'eau retenue par le prussiate. La majeure partie du gaz obtenu était de l'azote, et vers la fin, lors de cette espèce d'irruption dont je viens de faire mention, ce n'était que de l'azote tout pur et parfaitement inodore qu'on recueillait. Quand on a maintenu la calcination un temps suffisant, c'est-à-dire, tant qu'il se dégage du gaz en quantité notable,

la masse qui reste dans la cornue offre les caractères suivans : elle est noire, spongieuse, cristalline et comme moirée, très-alcaline, et d'une saveur prussique si prononcée, qu'en la goûtant on a les lèvres crispées et engourdies, comme quand on goûte de l'acide prussique peu étendu. Ce résidu se dissout instantanément dans une très-petite quantité d'eau, et avec un abaissement de température assez considérable. J'ai vu le thermomètre descendre subitement de 10° pendant que cette dissolution s'effectuait. De larges flocons noirs très-légers nagent dans la liqueur, qui est parfaitement incolore, quelque concentrée qu'elle soit : cette liqueur, étant filtrée, offre tous les caractères de l'hydro-cyanate de potasse pur. Ainsi, elle ne contient ni acide carbonique ni ammoniaque tout formés. Il ne s'en développe pas non plus par l'addition des acides, mais ceux-ci en dégagent une quantité considérable d'acide prussique ; et enfin, elle ne fournit pas de bleu avec les dissolutions de fer sans l'intermède des acides. C'est donc bien réellement de l'hydro-cyanate de potasse qu'on obtient en dissolution. Quant à ces flocons noirs qu'on sépare de l'hydro-cyanate, je ne crois pas, comme l'a avancé M. Berzelius, que ce soit un quadri-carbure de fer ; ce résidu n'offre pas, à mon avis, les caractères d'une combinaison réelle, et il me semble que c'est une sorte de mélange intime de fer métallique et de charbon. J'en juge du moins par la propriété qu'il a d'être attirable à l'aimant, et de se rouiller très-facilement quand on l'expose encore humide au contact de l'air : de plus, le fer qu'il contient se dissout avec effervescence d'hydrogène dans les acides muriatique et sulfurique étendus.

Enfin, la calcination s'opère très-facilement dans le creuset. Il est à présumer, ce me semble, que si le fer était combiné avec toute cette proportion de charbon, il serait mieux garanti de l'influence des divers agens, et cette prétendue combinaison serait plus permanente qu'elle ne l'est réellement.

On peut tirer un parti assez avantageux de cette action de la chaleur sur le prussiate de potasse, et s'en servir comme de mode analytique pour déterminer la quantité de fer et de potasse qu'il contient. En effet, quand l'opération a été bien faite, l'hydro-cyanate de potasse est entièrement débarrassé de fer, et le résidu charbonneux qui s'en sépare ne contient pas un atome d'azote. J'ai répété cette expérience sur 5 grammes seulement de prussiate, j'ai calciné dans une très-petite cornue de porcelaine exactement tarée, et il y a eu, après complète calcination, une perte de $0^g,42$ qu'on doit attribuer à l'azote du cyanure de fer. Le résidu, traité par l'eau, a été filtré, le dépôt charbonneux lavé avec beaucoup de soin, et séché le plus promptement possible; il pesait $1^g,24$: je l'ai fait brûler dans un creuset de platine, et j'ai obtenu $1^g,04$ de tritoxide de fer, ce qui correspond très-exactement à la proportion que M. Berzelius a séparé du même sel, au moyen de l'oxide rouge de mercure : cette proportion d'oxide représente 0,721 de fer métallique. Quant au charbon, si on voulait le conclure en retranchant le poids du fer du dépôt total, on obtiendrait une trop forte proportion, attendu que le fer est dans un tel état de division que, malgré toutes les précautions, on ne saurait l'empêcher de s'oxider

en partie ; mais il est possible de le déterminer par la combustion avec l'oxide de cuivre.

J'ai ensuite traité l'hydro-cyanate restant par l'acide sulfurique, et j'ai évaporé à siccité ; le sulfate de potasse obtenu pesait 4g,61 ; ce qui représente 2g,49 de potasse, quantité un peu inférieure à celle indiquée par M. Berzelius.

Puisque la chaleur suffit seule pour décomposer le cyanure de fer contenu dans le prussiate triple, j'ai pensé qu'en ajoutant un corps exempt d'hydrogène, et qui pourrait en même temps se combiner avec la potasse, il en résulterait peut-être une élimination complète de tout ce qui se trouverait combiné à ces deux bases, et que cela me mettrait à même d'acquérir quelque certitude à cet égard.

J'ai donc introduit dans une cornue de grès parfaitement desséchée, un mélange de 100 gr. de prussiate anhydre et de 15 gr. de silice pure qu'on avait fait rougir auparavant dans un creuset de platine. L'appareil adapté à la cuve à mercure a été disposé de manière à pouvoir recueillir tous les produits, et une très-petite cloche qui servait de récipient pour les produits liquides plongeait dans un mélange refroidissant.

Aussitôt que la chaleur a été assez intense pour agir sur le prussiate, on a aperçu dans les tubes des traces d'humidité, quelques cristaux sont ensuite venus se condenser dans le premier tube ; mais, par les progrès de l'opération, les cristaux et l'humidité ont disparu ; il s'est dégagé une quantité énorme de gaz, on en a recueilli seulement 10 éprouvettes prises à différentes époques ; le reste a été perdu ou soumis immédiatement à quel-

ques essais. Les premières cloches avaient une odeur prussique et ammoniacale très-prononcée, et le gaz rétablissait promptement au bleu la couleur du tournesol rougi. La troisième cloche donnait une absorption d'environ $\frac{1}{4}$ par l'eau de chaux, et celle-ci était fortement troublée. La quatrième éprouvette contenait 4 décilitres de gaz. Ce gaz s'est enflammé à l'approche d'une bougie allumée, et sa flamme avait une couleur jaune rougeâtre : après la combustion, les parois intérieures se sont trouvées recouvertes de vapeurs humides très-prononcées. Les essais qui ont été faits sur les autres gaz ont démontré qu'ils ne contenaient ni cyanogène ni hydrogène; la majeure partie était de l'azote et une petite quantité d'acide carbonique, encore celui-ci allait-il toujours en diminuant, à tel point que vers la fin ce n'était plus que de l'azote pur. Le résidu de la calcination était semblable à celui obtenu dans l'expérience précédente, avec cette seule différence que l'hydro-cyanate de potasse entraînait toute la silice en dissolution, et qu'on l'en précipitait à l'aide des acides, en même temps que l'acide prussique s'en dégageait; du reste, il avait tous les caractères de l'hydro-cyanate de potasse, comme dans le cas précédent : le résidu charbonneux se comportait aussi de la même manière que l'autre avec les divers agens, et ne retenait aucune portion de silice; c'était un mélange de fer et de charbon. Je n'ai pas cherché à donner plus de netteté à cette expérience, parce que j'ai vu que bien que les produits hydrogénés et oxigénés y fussent plus sensibles que dans la calcination du prussiate seul, leur quantité respective était encore insuffisante pour qu'on puisse les attribuer à la présence de l'acide ferro-cyani-

que. Je ne doutais pas cependant qu'en forçant la proportion de silice, je n'aurais obtenu une décomposition plus complète; mais comme il eût fallu employer alors une chaleur excessive et long-temps soutenue, j'ai préféré avoir recours à un moyen que je regardais comme susceptible de me fournir des résultats plus prononcés: je veux parler de l'action de l'acide borique; mais avant d'y venir, je terminerai ce paragraphe par faire observer qu'il n'est peut-être pas très-facile de se rendre compte de cette combinaison de la silice avec le résidu de la calcination du prussiate triple, en supposant que ce résidu ne soit réellement que du cyanure de potassium, et il paraît aussi assez surprenant que la silice n'eût pas chassé le cyanogène de sa combinaison.

Je reviens à l'expérience dont je viens de faire mention. M. Berzelius annonce avoir tenté de décomposer le prussiate anhydre par l'acide borique fondu; mais la masse se gonfla fortement pendant l'opération, et sortit de la cornue, de manière que le col en fut bientôt bouché. Le gaz qui se dégageait était, selon l'auteur, du cyanogène, mêlé d'un peu d'acide hydro-cyanique. Après la dissolution dans l'eau, du mélange calciné, il resta une masse brunâtre, insoluble dans l'acide muriatique, qui, exposée au feu, donna du borate de fer; d'où il semblait que l'acide borique avait été en partie décomposé.

Cette expérience est en effet d'une très-difficile exécution; car aussitôt que l'acide borique acquiert une fusion pâteuse, le boursoufflement est tel, que les vases se brisent; je l'ai variée d'une infinité de manières, et je n'ai jamais pu en conduire une jusqu'à la fin. Cependant j'y revenais sans cesse, parce qu'elle m'offrait des résultats

plus positifs. En effet, quand on calcine dans un tube bouché par une de ses extrémités, un mélange à parties égales d'acide borique fondu et de prussiate anhydre, il se dégage immédiatement des vapeurs qui viennent se condenser dans la partie opposée du tube, et l'odeur d'acide prussique est si intense, qu'on ne peut la supporter. Une allumette en ignition, présentée à l'ouverture du tube, enflamme le gaz qui se dégage; et la flamme est d'une couleur bleue intense; mais bientôt le mélange se gonfle, le tube se distend et se brise. Pour faire cette expérience avec plus de succès, j'imaginai de ne mettre d'abord que la petite proportion d'acide borique de 1 gr. sur 10 gr. de prussiate, et je disposai le mélange dans un tube très-fort et d'une assez grande capacité, de manière qu'il formât une couche très-mince et très-égale dans toute la longueur du tube; par ce moyen, j'avais conservé beaucoup d'espace vide. Je chauffai d'abord du côté de la partie bouchée, et j'allai successivement jusque vers l'extrémité opposée, en ayant toujours le plus grand soin de ménager la chaleur autant que possible; j'ai pu recueillir, par cette méthode, une assez grande quantité de gaz, et j'ai vu que dès le commencement de l'opération il se déposait, dans le premier tube de communication, un enduit cristallin dû à un peu de carbonate d'ammoniaque. Les gaz recueillis ont été numerotés, et j'ai acquis la preuve, par divers essais, que chaque cloche contenait une proportion variable d'acide prussique, d'acide carbonique, de gaz oxide de carbone et d'hydrogène carboné; mais je n'y ai pas reconnu la présence du cyanogène, indiquée par M. Berzelius; du moins, quand on avait laissé séjourner du peroxide de mercure avec ce gaz

un temps suffisant, il devenait absolument inodore; voici la marche que je suivais : j'absorbais d'abord l'acide prussique par l'oxide rouge de mercure, puis l'acide carbonique par des fragmens de potasse légèrement humectés. Le second résidu, mélangé avec une quantité suffisante d'oxigène, et brûlé dans l'eudiomètre, se convertissait en acide carbonique ; mais la quantité de gaz oxigène absorbée était plus considérable que si c'eût été seulement du gaz oxide de carbone. D'ailleurs, on voyait, après la détonnation, que l'intérieur de l'eudiomètre était couvert d'humidité, et je me suis assuré, au moyen du potassium, que le rapport de ces deux gaz était extrêmement variable. Dans cette première partie de l'expérience, on a recueilli trois éprouvettes de gaz. La première n'a été soumise à aucun essai comme contenant une partie de l'air de l'appareil, les deux autres ont donné les rapports suivans :

N° 1.	100 de gaz.	9,39 acide pruss.	9,39 acide carb.	81,22 ;
N° 2.	100	11,76	14,37	73,87.

J'ai repris ensuite le résidu de cette première calcination, et l'ai broyé dans un mortier d'acier bien chauffé ; j'ai ajouté au résidu 4 gr. d'acide borique fondu ; j'ai procédé comme ci-dessus, et j'ai obtenu une nouvelle quantité de gaz qui ne différait du premier qu'en ce qu'il contenait beaucoup d'acide prussique et d'acide carbonique. Voici les rapports qu'on a obtenus dans les quatre cloches qui ont été soumises à l'expérience ; on en aurait recueilli une beaucoup plus grande quantité, si le tube eût pu résister plus long-temps ; mais il fut brisé comme tous les autres, bien avant la fin de l'opération :

N° 1.	100 gaz.	19,59 acide pruss.	15,54	R. 64,87;
N° 2.	100	25,33	23,33	51,34;
N° 3.	100	49,06	26,70	24,24;
N° 4.	100	31,77	15,86	52,37.

On voit qu'ici les produits hydrogénés sont en assez grande proportion pour mériter une attention particulière, et j'ai dû nécessairement ne négliger aucun moyen d'en reconnaître l'origine; mais cette expérience offre tant de difficultés que je ne pouvais espérer d'en tirer aucun résultat précis. J'ai voulu voir si la décomposition par l'oxide de cuivre me présenterait plus d'avantages, et j'ai calciné dans un tube un mélange de cet oxide avec du prussiate anhydre; mais à peine se dégage-t-il pendant la calcination quelques traces d'humidité, et le muriate de chaux que traversait le gaz avant de se rendre dans les cloches n'a pas sensiblement augmenté de poids. J'observerai, relativement à cette opération, qu'on a beaucoup varié sur le rapport des gaz qu'on obtient. M. Porrett l'avait établi à 4 d'acide carbonique contre 1 d'azote; M. Berzelius a obtenu la relation de 3 : 2, et je l'avais notée de 2 à 1. J'ai reconnu que ces différences tenaient au mode d'opérer et au temps de l'observation. Si on chauffe lentement et successivement, on obtient un rapport assez constant pendant toute la durée de l'expérience; mais la totalité de l'acide carbonique ne se dégage pas, parceque, d'après l'observation de M. Porrett, une certaine quantité est retenue par la potassse du prussiate. Lorsqu'on chauffe plus vivement, et dans toute l'étendue du tube en même temps, alors le rapport de l'acide carbonique à l'azote est extrêmement variable;

en fractionnant les produits successifs dans quatre cloches différentes, j'ai obtenu les rapports suivans :

348	:	38;
373	:	190;
368	:	357;
349	:	307.
1438	:	792.

Encore est-il à remarquer que la première cloche n'avait point été comprise dans ces essais, et que très-probablement elle contenait une grande proportion d'acide carbonique.

Voici comment je me suis rendu compte de ce phénomène : je présume que, dans le cas où l'on chauffe plus lentement, et qu'on ne parcourt toutes les couches que successivement, alors, à mesure qu'une portion de potasse est mise à nu, l'acide carbonique des couches suivantes la baigne dans tous les sens, et elle en retient toute la quantité qu'elle est susceptible d'en retenir à cette température; tandis qu'au contraire, quand on chauffe toute la masse à la fois, une grande partie du charbon est brûlée sans que la potasse puisse en absorber sensiblement, parce qu'elle est par-tout la même, et qu'elle est suffisamment enchaînée par le corps qui la saturait primitivement. Aussi, dans ce cas, lorsqu'on recueille dans une même cloche tout le gaz produit, ou qu'on prend la moyenne de toutes les fractions obtenues, obtient-on une relation très-rapprochée de celle de 2 : 1, que j'avais indiquée.

Une partie variable de l'acide carbonique produit, étant retenue par la potasse du prussiate, je n'ai pu

baser sur ce procédé aucune recherche analytique, et il m'a été également impossible d'en déduire aucune conséquence rigoureuse relativement à la présence de l'hydrogène, parce que j'ai pu supposer que s'il y avait de l'eau de formée, il était possible qu'elle fût également absorbée par le carbonate de potasse, qui restait mélangé avec l'oxide de cuivre. C'est alors que je me suis imaginé d'arriver au but que je me proposais, et d'obvier à tous les inconvéniens cités, en réunissant sur le prussiate anhydre les deux actions de l'oxide de cuivre et de l'acide borique. J'ai pensé que l'acide borique, ainsi enveloppé d'une grande quantité d'oxide de cuivre, n'éprouverait aucune tuméfaction, et qu'à mesure qu'il chasserait l'acide ou le radical de sa combinaison, celui-ci serait immédiatement décomposé par l'oxide de cuivre, sans que la potasse puisse retenir aucune portion d'acide carbonique, par cela même qu'elle se combine à mesure avec l'acide borique. Cette expérience m'a en effet complètement réussi, et j'ai pu en déduire les proportions exactes des parties constituantes du prussiate triple de potasse. Je fis un mélange de 1 gramme de prussiate anhydre, de 2 gr. d'acide borique fondu, et de 20 gr. d'oxide de cuivre; le tout fut introduit dans un tube d'un petit diamètre et fort épais; à ce premier tube j'en ajoutai un deuxième contenant du muriate de chaux exactement pesé, puis ensuite un troisième destiné à conduire les gaz sous la cloche. Je chauffai avec beaucoup de précaution, mais suffisamment cependant pour aller jusqu'à ramollir le tube. Pendant tout le cours de l'opération, on voyait l'humidité ruisseler et se condenser sur le muriate calcaire l'expérience étant terminée, on trouva une augmenta

tion de 0,45, qu'on ne peut attribuer qu'à de l'eau ; ce qui correspond à 0,05 d'hydrogène. Le gaz recueilli était uniquement composé d'azote et d'acide carbonique dans le rapport de 2 : 1, et j'en ai obtenu $5^{\text{décil.}}$,95 ; tandis que la même proportion de prussiate anhydre, traitée par l'oxide de cuivre seul, n'en avait donné que 4^{d},8. Enfin, je trouvai, après tout calcul fait, avoir obtenu :

Azote,	0,2297	ou cyanogène, 0,4291 ;
Carbone,	0,1994	

quantité qui, réunie avec les proportions de fer et de potasse trouvées dans une des expériences précédentes, donne, par un gr. de prussiate :

Cyanogène,	0,4291	formant un total trop fort de 0,0713.
Fer,	0,1442	
Potasse,	0,4980	
	1,0713.	

Tandis qu'en admettant avec M. Berzelius, que le prussiate anhydre contient du potassium, on a :

Cyanogène,	0,4291 ;
Fer,	0,1442 ;
Potassium,	415.
	9883.

Résultat aussi rapproché que possible de la quantité employée.

Resterait à expliquer maintenant la présence de l'eau dans cette expérience, et des produits hydrogénés dans la précédente ; la seule idée que je pouvais admettre à

cet égard était de supposer que l'acide borique, quoique tenu en fusion tranquille pendant long-temps, conservait encore une certaine quantité d'humidité; résultat contraire à ce qu'on avait cru jusqu'alors. Pour m'en assurer, j'ai traité dans un semblable appareil une même quantité d'acide borique avec de l'oxide de cuivre seul. Les plus grandes précautions avaient été prises pour que ces deux corps fussent aussi secs que possible. On a trouvé, après la calcination, que le muriate de chaux qui avait été placé à l'extrémité de l'appareil, avait subi une augmentation de poids à très-peu près égale à celle obtenue dans la dernière expérience.

Il est donc certain, ainsi que l'a avancé M. Berzelius, que le prussiate triple de potasse, une fois desséché, ne contient plus d'hydrogène; mais je crois qu'on ne saurait admettre avec lui qu'il en est de même pour tous les prussiates triples, et je ne vois rien, je le repète, qui autorise à nier l'existence de l'acide ferro-cyanique.

Extrait *des Séances de l'Académie royale des Sciences.*

Séance du lundi 19 *mars* 1821.

Son Excellence le Ministre de l'Intérieur transmet à l'Académie un projet de *Tontine de compensation* à substituer au projet déjà présenté par MM. Pallard et Audeond.

M. Martin envoie le dessin d'un *dynamomètre hydraulique*, accompagné d'une description.

MM. Chazzeisre demandent des commissaires pour un *nouvel instrument de musique.*

On lit une lettre de Sir Humphry Davy à M. Ampère, sur quelques expériences électro-magnétiques. L'illustre président de la Société Royale paraît douter de l'identité du magnétisme et de l'électricité.

La Commission chargée d'adjuger le prix de Physiologie a porté le jugement suivant : le prix sera partagé également entre M. Dutrochet, pour ses Recherches sur l'accroissement et la reproduction des végétaux, et M. Edwards pour ses expériences sur la respiration et sur l'influence des saisons sur l'économie animale.

L'accessit sera décerné à MM. Tiedman et Gmelin jeune, pour leur ouvrage allemand, sur les voies par lesquelles les substances reçues dans le canal alimentaire passent dans le sang.

Il sera accordé une mention très-honorable au *Mémoire* de M. Magendie *sur l'Absorption.* Enfin il sera donné un témoignage d'encouragement à l'écrit de M. Desmoulins sur l'état du système nerveux dans le marasme non sénile.

La Commission chargée d'adjuger le prix sur la Maturation des fruits fait aussi son rapport (*Voyez* Cahier de mars, pag. 304 et suiv.)

L'Académie nomme au scrutin la Commission qui doit présenter des candidats pour le prix fondé par M. de Lalande : cette Commission est composée de MM. Laplace, Arago, Delambre, Bouvard et Burckardt.

Au nom d'une Commission, M. Arago fait un rapport sur l'ouvrage de M. Vallée intitulé : *Traité de la science du dessin.*

Cet ouvrage a près de 500 pages in-4°; il est divisé en quatre livres. Le premier contient les procédés relatifs à la détermination des lignes de séparation d'ombre et de lumière pour toutes les positions possibles du corps éclairant et du corps éclairé; le second traite de la perspective linéaire; la théorie des images d'optique est exposée avec beaucoup de détail dans le troisième; le quatrième enfin renferme les principes généraux de la perspective aérienne, et leurs applications au lavis.

Ces deux derniers chapitres, auxquels M. Vallée a fait d'assez grands changemens depuis la présentation de son ouvrage, ont été renvoyés à l'examen d'une Commission spéciale; quant aux deux premiers, les Commissaires déclarent que, dans les parties qu'ils ont pu examiner, les méthodes leur ont paru bien choisies et conformes aux vrais principes de la géométrie descriptive; que des exemples nombreux et variés en font ressortir tous les avantages, et offriront aux artistes des exercices fort instructifs; que les démonstrations sont méthodiques et très-clairement rédigées. Le recueil de planches qui accompagne l'ouvrage a été dessiné par l'auteur lui-même, et sera un véritable modèle de travail graphique. Ce Traité de M. Vallée, qui semble devoir être si utile aux ingénieurs civils et militaires, aux peintres, et en général à toutes les personnes qui cultivent les arts, a reçu l'approbation de l'Académie.

M. Geoffroy-Saint-Hilaire lit des *Observations d'Anatomie pathologique sur un acéphale humain éclaircissant quelques points de l'histoire de l'origine des nerfs.*

M. Latreille lit un *Mémoire sur les Zodiaques égyptiens.*

Séance du lundi 26 mars.

Le Ministre de l'Intérieur transmet les manuscrits laissés par feu M. Reineck, prussien, mort à Ancenis.

M. Couverchel, pharmacien, réclame contre le jugement porté par la Commission qui a décerné à M. Bérard le prix relatif à la maturation des fruits.

L'Académie, considérant que les Commissions choisies au scrutin pour décerner les prix jugent en dernier ressort, arrête qu'on n'achevera pas la lecture qui avait été commencée de la lettre de M. Couverchel.

M. Surun communique différentes observations à l'appui du Mémoire lu par M. Geoffroy-Saint-Hilaire dans la dernière séance.

Les Commissions chargées de décerner le prix de Statistique et la médaille de Lalande font leurs rapports. (*Voyez* Cahier de mars, pag. 307 et 312.)

M. Girardin lit de nouvelles observations sur la fièvre jaune.

Séance publique du lundi 2 avril.

(*Voyez* les détails de cette séance dans le Cahier de mars, pag. 304 et suiv.)

LETTRE *de M.* Dubois Aymé, *Correspondant de l'Institut et membre de la Commission d'Egypte, à M.* Berthollet, *sur la formation de la* Crau (1).

« Vous connaissez, Monsieur, les opinions différentes qui ont été émises sur la formation de la Crau; les uns

(1) La *Crau* est une vaste plaine triangulaire, célèbre par la grosseur et par l'énorme quantité de cailloux roulés dont elle est couverte : elle a 20 lieues carrées d'étendue. Le sommet du triangle est appuyé à la mer; la base s'étend à-peu-près de l'est à l'ouest. Les bords de la Crau sont cultivés; mais en avançant dans l'intérieur, on voit cette culture diminuer par gradation, et on se trouve enfin dans un vaste désert où, de tous côtés, excepté au nord, on ne voit que le ciel et les cailloux roulés. On sait que cette plaine était connue des anciens sous le nom de *Campus Lapideus* ou *Campus Herculeus*, en mémoire d'une pluie de pierres que Jupiter fit tomber sur les fils de Neptune, que combattait Hercule.

La plupart des cailloux qu'on voit dans la Crau sont gros comme la tête d'un homme et forment une surface de niveau. (*Sauss.*, t. III, p. 394 et suiv.) (R.)

y ont vu l'ancien lit de la Durance, les autres un attérissement du Rhône, enfin quelques personnes ont pensé que l'on devait attribuer à la mer l'accumulation des galets qui recouvrent ce terrain.

» La première de ces opinions est généralement admise en Provence, et je n'en connaissais point d'autres lorsque je traversai la Crau en 1817, depuis Arles jusqu'à Saint-Châma. J'avais, peu de jours auparavant, suivi les bords de la Durance, du côté de Mirabeau, et je fus fort étonné de trouver les cailloux de la Crau généralement plus volumineux que ceux de la Durance, à Mirabeau, lorsque le contraire aurait dû avoir lieu en raison des distances de ces deux endroits à la source de la rivière; enfin les cailloux de même nature ne se présentaient pas dans les mêmes proportions : ainsi les cailloux quartzeux me paraissaient dominer dans la Crau, tandis que dans la Durance les plus nombreux étaient les calcaires. Je reconnus aussi, au-dessous des cailloux isolés et détachés du sol, l'existence d'un poudingue composé des mêmes pierres, et il me parut ne pouvoir avoir été formé que sous les eaux de la mer : je le suivis jusqu'auprès des collines de calcaire coquillier qui terminent la Crau vers le sud et l'est, et je regardai comme certain que des fouilles faites à travers ce terrain calcaire feraient retrouver au-dessous le poudingue de la Crau.

» A mon retour à Marseille, je fis part de ces différentes observations à deux de mes confrères de l'Académie de Marseille : l'un d'eux, trompé par sa mémoire, m'opposa le sentiment de Saussure, qui, disait-il, avait reconnu la Crau pour l'ancien lit de la Durance. J'en conclus aussitôt que j'avais mal observé ce terrain, et que quelques faits importans observés par Saussure m'étaient sans doute échappés. Desirant les connaître, j'envoyai à l'instant chercher son ouvrage, et nous y lûmes, à ma grande satisfaction, non-seulement la même opinion que celle que je venais d'émettre, mais encore la même opinion basée sur les seuls faits de la grosseur respective des galets de la Crau et de la Durance, et de leur nature, ainsi que je l'ai dit plus haut.

» Depuis cette époque, je suis retourné dans la Crau,

je l'ai traversée sur d'autres points, j'ai parcouru de nouveau les bords de la Durance, j'ai remarqué les lacs qu'elle a formés autrefois, et les galets qui se trouvent sur ses rives, à une grande élévation au-dessus de son lit actuel; j'ai recueilli quelques faits nouveaux, les uns favorables, les autres défavorables aux diverses opinions émises sur la formation de la Crau, et j'ai fini par reconnaître qu'avec les données actuelles la question restait indécise, et que des esprits également judicieux pouvaient, en s'appuyant sur des probabilités à-peu-près égales, adopter les hypothèses les plus opposées. Il me parut donc qu'avant de songer à traiter de nouveau cette question, il fallait recueillir des faits plus décisifs; que, par exemple, il importait par-dessus toute chose de s'assurer si la mer avait ou non séjourné sur les galets de la Crau. En effet, ce point une fois décidé, les géologues auraient une base sur laquelle ils pourraient asseoir leurs systèmes, et leur donner plus de consistance, puisqu'un fait certain renverse nécessairement toutes les hypothèses probables qui lui sont contraires.

» Mais pour reconnaître l'ancien séjour de la mer sur la Crau, il n'y avait qu'une manière d'opérer qui me parût sans réplique. J'avais soupçonné, en 1817, que les galets et le poudingue de la Crau passaient sous le calcaire marin : c'est là ce qu'il fallait vérifier; car cette démonstration était la seule qui n'admît plus aucune objection, tandis que tout ce qui avait été dit jusqu'à ce jour n'était basé que sur de légères probabilités.

» Je priai en conséquence quelques personnes qui, à diverses époques, allèrent dans la Crau, de vérifier si les galets allaient sous le calcaire ou s'ils le surmontaient, ou enfin s'ils le joignaient seulement. Je le recommandai entre autres à un membre de l'Académie de Marseille que des recherches minéralogiques appelaient du côté de la Valduc. C'était le même à qui j'avais fait part de mes premières observations sur la Crau. A son retour, il me dit n'avoir vu en aucun endroit que les galets et poudingue de la Crau passassent sous les collines calcaires; les autres personnes me firent successivement la même réponse. Enfin, ne voulant rien négliger pour

constater l'existence ou la non existence de ce gisement, je suis parti le 22 du mois dernier avec M. Toulouzan, et nous nous sommes dirigés vers les points de la Crau, où des escarpemens naturels et des fouilles faites de main d'homme pouvaient nous faire connaître les gisemens des divers terrains. Mes recherches ont été fructueuses : nous avons trouvé le poudingue de la Crau sous des bancs calcaires formés en grande partie de débris de coquilles, de madrépores et d'animaux marins. Dans d'autres endroits, nous avons vu des galets semblables à ceux de la Crau épars çà et là dans la roche calcaire, à différentes profondeurs du sol, depuis un mètre jusqu'à 20 mètres, et même plus. Ailleurs enfin, les mêmes galets, quoique non réunis au poudingue, étaient disposés par bancs et empâtés dans du calcaire composé en grande partie de débris de coquilles et d'animaux marins, tels que des huîtres, des oursins, du corail, etc.

» J'ai pensé que ces faits, qui n'avaient pas encore été observés, étaient essentiels à constater de suite; si j'y ai joint le récit de la manière dont mon opinion s'est formée, c'est parce qu'il peut servir à faire connaître que j'ai visité la Crau sans être plus prévenu en faveur d'une hypothèse que d'une autre.

» J'ai, de concert avec M. Toulouzan, entrepris plusieurs fouilles, plusieurs nivellemens, et nous aurons l'honneur incessamment d'adresser à l'Institut une description géologique de la Crau.

» Déjà un point important est résolu, *la mer a autrefois recouvert la Crau*; et par le mot de *mer* on peut entendre la Méditerranée ou un lac d'eau salée qui renfermait des animaux semblables à ceux que renferme aujourd'hui la Méditerranée. Il reste maintenant à examiner si les galets de la Crau ont été primitivement apportés dans ce lieu par le Rhône ou par la Durance, ou si la mer les a formés et amoncelés en cet endroit. Proviennent-ils des Alpes ou de toute autre chaîne encore existante, ou de montagnes maintenant détruites ? Ces questions et plusieurs autres de ce genre seront l'objet de la partie hypothétique de notre Mémoire.

» J'ai l'honneur d'être, etc. »

Marseille, le 10 juin 1820.

JOURS.	9 HEURES DU MATIN			MIDI.			3 HEURES DU SOIR.			9 HEURES DU SOIR.			THERMOMÈTRE.		ÉTAT DU CIEL à midi.	VENTS.
	Barom. à 0°.	Therm extér.	Hygr.	Barom, à 0°.	Therm. extér.	Hygr.	Barom. à 0°.	Therm. extér.	Hygr.	Barom. à 0°.	Therm. extér.	Hygr.	maxim.	minim.		
1	757,65	+21,9	47	757,73	+22,8	39	757,32	+23,6	40	758,00	+17,3	78	+24,1	+12,4	Légers nuages.	E.
2	757,05	+19,2	56	756,00	+21,5	50	754,98	+23,6	40	753,93	+17,2	40	+23,6	+11,5	Petits nuages.	O. S. O.
3	753,14	+13,8	82	753,00	+16,8	71	752,52	+17,8	71	751,83	+14,5	80	+17,8	+13,2	Couvert.	O.
4	749,14	+18,2	66	748,50	+19,4	60	748,45	+14,4	78	748,50	+12,1	83	+19,5	+12,1	Pluie fine.	O. S. O.
5	751,50	+14,4	79	752,80	+17,0	54	753,10	+18,8	52	754,07	+14,1	74	+18,8	+11,5	Quelques éclaircies.	O.
6	757,66	+16,3	52	758,20	+18,4	45	758,33	+19,8	40	757,60	+16,0	55	+19,8	+13,5	Très-nuageux.	O.
7	754,38	+18,5	61	753,13	+17,0	62	751,72	+17,3	67	750,81	+12,2	90	+21,5	+11,3	Pluie.	S. O.
8	749,62	+15,5	65	748,97	+17,3	64	748,56	+15,0	70	748,76	+13,0	84	+17,3	+11,0	Pluie par intervalles.	O. S. O.
9	751,56	+12,3	62	752,37	+13,5	51	752,76	+13,1	45	753,33	+ 9,0	49	+13,5	+ 7,8	Couvert.	N. O.
10	752,63	+12,0	62	752,36	+14,0	52	752,64	+12,0	51	753,73	+ 8,8	78	+14,1	+ 8,5	Nuageux.	S. O.
11	755,20	+10,0	68	755,64	+11,3	61	755,77	+15,6	52	757,21	+10,3	71	+15,8	+ 7,5	Pluie continuelle	O.
12	760,33	+13,8	61	760,95	+15,0	57	761,60	+12,0	87	762,71	+ 9,8	79	+15,0	+ 7,5	Très-nuageux.	O.
13	762,83	+13,8	57	762,38	+14,4	51	761,45	+14,4	50	761,56	+ 9,1	85	+14,8	+ 6,0	Couvert.	N. E.
14	762,02	+12,5	65	762, 9	+16,0	52	761,95	+16,3	46	763,00	+12,0	70	+16,3	+ 9,3	Quelques éclaircies.	N. E. fort.
15	763,61	+15,0	62	763,43	+16,5	54	762,25	+16,4	49	761,53	+13,0	56	+16,5	+ 9,5	Nuageux.	N.
16	760,30	+14,8	56	760,34	+14,8	61	760,06	+16,0	53	760,53	+12,9	62	+16,[illegible]	+10,0	Couvert.	N. E.
17	761,87	+14,4	74	761,46	+17 4	54	760,68	+19,0	44	761,09	+14,8	54	+19,0	+10,0	Nuageux.	N. E.
18	762,74	+16,0	59	762,37	+18,9	45	761,96	+18,2	50	761,53	+13,1	65	+19,5	+12,1	Nuageux.	N. E.
19	759,85	+16,0	60	758,62	+17,5	49	757,36	+19,1	40	757,00	+13,0	57	+19,1	+11,1	Légers nuages.	N. fort.
20	756,15	+14,0	48	755,54	+16,5	40	755,22	+17,5	35	755,62	+12,2	45	+17,5	+10,0	Nuageux.	N. E.
21	757,43	+15,4	48	757,40	+17,4	32	757,40	+17,3	50	758,75	+12,6	62	+17,4	+12,1	Nuageux.	N. E.
22	760,30	+14,6	52	760,44	+17,3	40	759 65	+18,0	39	760,20	+13,0	55	+18,0	+ 7,5	Très-nuageux.	N. O.
23	760 03	+13,5	64	759,68	+16,2	51	759,14	+16,5	53	759,06	+12,7	82	+16,5	+ 8,8	Couvert.	N. O.
24	758,68	+15,6	65	758,34	+18,3	53	758,03	+18,5	51	758,10	+13,4	74	+18,5	+10,8	Nuageux.	N. E.
25	758,56	+16,8	54	758,33	+18,8	46	757,84	+19,8	37	758,05	+16,5	51	+19,8	+ 8,8	Nuageux.	N. E.
26	757,80	+14 5	77	756,90	+17,6	60	755,70	+21,1	47	755,53	+17,3	55	+21,1	+11,5	Nuageux.	N. E.
27	755,76	+19,5	72	755,46	+21,9	60	755,53	+23,0	50	756,69	+18,8	65	+23,5	+13,5	Couvert.	N.
28	759,89	+15,8	63	759,94	+19,2	53	759,78	+20,2	43	761,13	+15,1	70	+20,3	+10,8	Légers nuages.	N.
29	761,96	+16,8	52	761,50	+20,8	45	760,65	+21,8	38	760,24	+17,8	60	+21,8	+ 9,5	Nuageux.	N.
30	758,00	+20,3	62	757,15	+22,1	52	755,73	+21,6	59	753,65	+16,7	94	+22,6	+14,2	Couvert.	S. O.
1	753,43	+16,2	63	753,31	+17,8	55	753,04	+17,5	55	753,06	+13,4	72	+19,0	+11,3	Moyennes du 1 au 10.	Pluie en centim.
2	760,49	+14,0	61	760 28	+15,8	52	759,83	+16,4	51	760,18	+12,0	64	+17,0	+ 9,3	Moyenn. du 11 au 20	Terrasse, 4,405
3	758,84	+16,3	61	758,51	+19,0	49	757,95	+19,8	45	758,14	+15,4	67	+19,9	+10,7	Moyenn. du 21 au 30.	Cour, 4,554
	757,59	+15,5	62	757,37	+17,5	52	756,04	+17,0	50	757,13	+ 3,6	63	+18,6	+10,4	Moyennes du mois, +14,5.	

Remarques *de M.* Biot *sur un Rapport lu, le 4 juin* 1821, *à l'Académie des Sciences, par MM.* Arago *et* Ampère (1).

L'Académie, dans sa dernière séance, a entendu un rapport de MM. Arago et Ampère sur un Mémoire présenté, il y a cinq ans, par M. Fresnel, et relatif aux phénomènes de couleurs que produisent les lames minces des cristaux doués de la double réfraction, lorsqu'on les

(1) Le rapport dont il s'agit est celui qui a été imprimé dans les *Annales de Chimie et de Physique*, pour mai 1821. Une discussion s'étant élevée, tant sur le fond de ce rapport que sur sa forme, l'Académie, d'après la proposition de M. Laplace et de M. Dupin, voulut bien remettre sa décision à la séance suivante pour entendre les observations que je pourrais avoir à présenter. Je lui soumis alors celles que l'on va lire. J'y discutais naturellement le rapport sous deux points de vue, celui des opinions scientifiques qu'il renfermait, et celui de sa conformité aux règles adoptées par les Académies pour assurer l'équité et l'impartialité de leurs jugemens. Mais MM. les Commissaires ayant déclaré, dans cette seconde séance, qu'ils ne demandaient point à l'Académie de se prononcer sur le rapport même, mais seulement sur les conclusions qui le terminent, et ayant modifié ces conclusions de manière qu'elles n'exprimaient plus que de justes éloges du travail de M. Fresnel, éloges auxquels j'ai joint moi-même mon suffrage, j'ai supprimé ici la dernière partie de mes remarques qui portait sur la légalité du rapport, et je n'ai conservé que les considérations scientifiques, seules dignes par elles-mêmes qu'on y attache de l'intérêt. (Biot.)

fait traverser par un rayon de lumière préalablement polarisée. Quatre ans avant le travail de M. Fresnel, j'avais ramené l'ensemble de ces phénomènes à dépendre d'un petit nombre de lois physiques, que je crois exactes; mais le rapport les ayant attaquées, l'Académie a bien voulu me donner le temps et l'occasion de répondre. Je le ferai aussi clairement, aussi brièvement qu'il me sera possible, en tâchant de marquer avec équité, comme on doit le faire dans des recherches si délicates et encore si peu complètes, la nuance, souvent difficile à saisir, qui sépare la certitude de la vraisemblance et la vérité de l'erreur.

Je rappellerai d'abord les apparences principales que présentent les phénomènes dont il s'agit. On verra aussitôt que ces apparences offrent un caractère physique commun qui, étant exprimé mathématiquement et réduit en formule, les reproduit dans leurs moindres détails par le seul développement du calcul. J'examinerai alors les objections élevées dans le rapport contre cette loi générale; je prouverai qu'elles ne sont pas fondées; et je montrerai sa réalité, même dans les cas que l'on a présentés comme lui étant décidément contraires.

J'appelle avec Malus *rayon polarisé*, un rayon qui, ayant été réfléchi spéculairement par une glace polie, sous un angle de 35°25′, compté de la surface de cette glace, possède la propriété de se réfracter tout entier ordinairement, ou tout entier extraordinairement, dans un rhomboïde de chaux carbonatée qu'on lui présente sous l'incidence perpendiculaire, selon que la section principale de ce rhomboïde est rendue parallèle ou perpendiculaire au plan dans lequel la réflexion a eu lieu. Malus nous a

appris comment un rayon ainsi préparé se partage entre les deux réfractions dans les positions intermédiaires du rhomboïde. J'adopterai ses lois. Je n'examine pas si de pareils rayons ne peuvent pas se ressembler ou différer entre eux par d'autres propriétés distinctes des précédentes. Celles-ci sont les seules que j'aurai besoin d'employer.

J'appelle *axes de double réfraction* les directions, qui sont telles dans un cristal que les deux vitesses ordinaire extraordinaire y deviennent égales. Chaque cristal, doué de la double réfraction, offre généralement deux directions qui jouissent de cette propriété, et dont l'inclinaison mutuelle dépend de sa constitution propre. Je nomme *cristaux à un seul axe* ceux dans lesquels cette inclinaison est égale à zéro, en sorte que les deux axes s'y trouvent réunis. Tel est le cas de la chaux carbonatée.

La chaux sulfatée, au contraire, comme le Dr Brewster l'a le premier découvert, possède deux axes qui sont situés dans le plan même des lames suivant lesquelles ce minéral se laisse diviser par un clivage naturel et facile. Ces deux axes font entre eux un angle d'environ 60°. J'appellerai *section principale des lames de chaux sulfatée,* un plan mené perpendiculairement à leur surface, et divisant l'inclinaison mutuelle des deux axes en deux parties égales.

Enfin, je supposerai qu'ayant polarisé un rayon de lumière blanche par la réflexion spéculaire, sur une glace polie, ou mieux encore sur une plaque d'obsidienne, substance qui imprime à toutes les parties du rayon une polarisation bien plus complète, on transmette ce rayon à travers un prisme de chaux carbonatée d'un petit angle, achromatisé approximativement par l'opposition d'un prisme de

verre, et disposé de manière que la section principale de sa première surface soit parallèle à la direction du plan de réflexion et de polarisation du rayon. Alors, celui-ci, en pénétrant la substance du prisme cristallisé, s'y réfractera tout entier ordinairement, sans perdre sa polarisation primitive; et il conservera encore cette polarisation après être sorti du prisme, si, comme je le supposerai, la seconde surface de celui-ci est perpendiculaire à la section principale de sa première surface.

Concevons maintenant qu'avant d'arriver au prisme, et de là vers l'œil, le rayon soit transmis perpendiculairement à travers une lame naturelle de chaux sulfatée. L'interposition de cette lame troublera généralement le sens de la polarisation que le rayon avait reçue par la réflexion; et, sans le diviser elle-même, parce que sa route est perpendiculaire au plan des axes, elle le rendra apte à se diviser en traversant le prisme de chaux carbonatée. Cette division produira ainsi deux rayons émergens, que l'on pourra jeter sur un tableau blanc, ou recevoir directement dans l'œil.

Cela posé, si l'épaisseur de la lame de chaux sulfatée excède $\frac{45}{100}$ de millimètre, elle produira ainsi généralement dans le prisme deux images blanches, dont les intensités seules varieront quand on tournera la lame sur son propre plan; de manière que l'on verra tour-à-tour chacune d'elles s'évanouir dans certaines positions, puis reparaître et s'évanouir encore selon des lois que Malus a données. Mais, si la lame de chaux sulfatée interposée a une épaisseur moindre que $\frac{45}{100}$ de millimètre, les deux images produites par la double réfraction du prisme

cristallisé seront accompagnées de phénomènes de coloration, dont il s'agit de trouver les lois.

Un caractère saillant et général de ces phénomènes est le suivant : si l'on tourne la lame mince sur son propre plan, le prisme de chaux carbonatée restant fixe, celle des deux images qui sort de ce prisme avec la réfraction extraordinaire, et que, pour abréger, je désignerai par *E*, éprouve des variations d'intensité considérables. Elle est d'abord nulle quand la section principale de la lame coïncide avec la direction de la polarisation primitive ; elle augmente à mesure que la lame tourne, atteint son *maximum* quand l'angle de rotation est de 45°, puis décroît jusqu'à ce qu'il soit de 90°, où elle redevient nulle de nouveau, pour renaître ensuite et parcourir les mêmes périodes dans les autres quadrans qui complètent la révolution entière que la lame peut faire. Mais tous ces changemens n'affectent que l'intensité seule de l'image : sa couleur reste invariablement constante dans toutes les positions de la lame sur son plan.

Or, je dis que cette constance est un phénomène tout-à-fait caractéristique du mode d'action que la lame mince exerce sur l'ensemble des rayons polarisés qui l'ont traversée. Car supposez, pour fixer les idées, qu'avec une certaine épaisseur, l'image *E* contienne, dans sa plus grande intensité, une certaine proportion de chaque couleur simple, par exemple $\frac{92}{100}$ de toute la lumière rouge qui se trouve dans la lumière incidente, $\frac{82}{100}$ de l'orangé, $\frac{72}{100}$ du jaune, et rien du tout des autres couleurs, auquel cas la teinte de cette image sera un orangé à-peu-près pareil à celui du premier ordre des anneaux de Newton ; alors, quand cette image atteindra son *maximum* d'in-

tensité, l'autre image, qui est donnée par la réfraction ordinaire du prisme et que je nommerai, pour abréger, *O*, contiendra donc le reste du rouge de l'orangé et du jaune, c'est-à-dire, $\frac{8}{100}$ du premier, $\frac{18}{100}$ du second et $\frac{28}{100}$ du troisième, plus la totalité des rayons qui composent le reste du spectre; ce qui fera de cette image un bleu blanchâtre. Or, puisque nous supposons l'intensité de l'image *E* arrivée à son *maximum*, elle ne peut plus, dans le mouvement de la lame, enlever à l'image *O* aucune des portions de lumière qui composent ce bleu blanchâtre; elle ne fait au contraire que lui céder un certain nombre de ses rayons propres, à mesure que son intensité s'affaiblit. Ainsi, nous pouvons considérer la lumière totale transmise à travers la lame cristallisée, comme composée de deux portions distinctes, dont l'une *O*, n'éprouvant aucun changement dans sa polarisation primitive, subit toujours, dans le prisme cristallisé, la réfraction ordinaire; tandis que l'autre portion *E*, fournissant toujours les élémens de l'image extraordinaire, prouve, par cela même, qu'elle a été déviée de la direction primitive de polarisation que la réflexion lui avait d'abord imprimée.

Il reste maintenant à savoir si les divers rayons simples qui composent cette image *E* sont encore polarisés tous dans un même sens, ou s'ils le sont dans des sens divers. Or, que ce sens soit le même pour tous, c'est ce que montre évidemment la constance de la teinte de l'image *E*, à mesure que lame tourne. Car, si les rayons qui la composent, et qui sont généralement de différente nature, se trouvaient polarisés dans des sens divers, il ne pourrait pas se faire que, dans toutes les positions de la lame,

le prisme cristallisé enlevât toujours par sa réfraction extraordinaire une même proportion relative de chacun d'eux ; ce qui est pourtant prouvé par la constance même de la teinte. Alors il ne reste plus qu'à chercher quelle doit être cette direction commune de polarisation dans chaque position de la lame mince pour que le prisme cristallisé puisse en former une image extraordinaire soumise aux périodes d'intensités observées. Ceci conduit à trouver que, si l'on appelle i l'angle formé par la section principale de la lame mince avec la direction de la polarisation primitive, la portion E de la lumière transmise est constamment polarisée dans l'azimut $2\,i$, c'est-à-dire, suivant une direction qui fait, avec la section principale de la lame, le même angle que cette section forme du côté opposé avec la direction primitive de la polarisation. L'on a vu tout-à-l'heure que la portion O reste toujours polarisée dans l'angle zéro, c'est-à-dire, suivant la direction de la polarisation primitive même ; il ne reste donc qu'à appliquer les formules de Malus aux deux faisceaux ainsi polarisés, pour en conclure l'intensité de l'image ordinaire F_o, et celle de l'image extraordinaire F_e, données par le prisme dans une position quelconque de la lame. On peut encore, pour plus de généralité, supposer que la section principale du prisme, au lieu de coïncider avec la direction de la polarisation primitive, comme nous l'avons supposé d'abord, forme avec elle un angle quelconque α, et l'on aura :

$$F_o = O\cos^2\alpha + E\cos^2(\alpha - 2i)$$
$$F_e = E\sin^2\alpha + E\sin^2(\alpha - 2i).$$

Ces formules sont les mêmes que j'ai données, il y a

neuf ans, dans les Mémoires de l'Institut. Elles représentent avec une fidélité parfaite tout le jeu des teintes données par une même lame mince; et elles ne s'appliquent pas seulement au cas particulier des lames de chaux sulfatée que nous avons pris pour exemple, le mode de polarisation qu'elles indiquent se retrouve sans exception dans tous les phénomènes de couleurs que la lumière polarisée donne, avec des lames minces de toutes sortes de cristaux, taillés suivant des sens quelconques.

Le mode de développement des deux images étant ainsi connu, il ne restait plus qu'à définir la nature de leurs teintes. Je remarquai que, pour les lames de chaux sulfatée et de beaucoup d'autres substances, ces teintes étaient celles des anneaux analysés par Newton; l'image *O* présentant toujours, autant que les sens peuvent en être juges, la couleur d'un des anneaux transmis, et l'image *E* celle de l'anneau réfléchi correspondant. Je prouvai, par un grand nombre de mesures, que les épaisseurs auxquelles chaque teinte se montrait à son plus haut degré de distinction étaient précisément proportionnelles à celles qui, d'après les expériences de Newton, développent la même teinte dans les anneaux colorés formés par la simple réflexion dans les lames minces d'air, de verre ou de vide : seulement, dans les nouveaux phénomènes, la valeur absolue des épaisseurs était beaucoup plus considérable. J'ai cru, je crois encore, que ce sont là de simples lois physiques indépendantes de toute hypothèse, et auxquelles on ne peut faire avec fondement aucune objection.

Je ne puis surtout concevoir comment on pourrait leur opposer quelque particularité tirée des formules

par lesquelles M. Fresnel s'est proposé depuis de représenter les mêmes faits ; car ces formules, qui se concluent aisément des principes exposés dans son Mémoire, et que j'ai ici écrites de sa main même (1), ont, à la vérité, une apparence différente des miennes, ce qui en rend moins évidente l'interprétation expérimentale ; mais on peut, à l'aide de quelques transformations analytiques très-faciles, faire disparaître cette diversité ; et alors on voit que ces formules simplifiées coïncident précisément avec les miennes, et expriment ainsi exactement le même mode de polarisation de la lumière transmise.

En effet, en conservant les mêmes dénominations dont je viens de faire usage, les intensités F_o F_e des deux images, ordinaire extraordinaire, données par chaque espèce de lumière simple, sont, suivant M. Fresnel, exprimées par les formules suivantes :

$$F_o = \cos^2 \alpha - \sin 2i \sin 2(i-\alpha) \sin^2 \pi \left(\frac{e-o}{\lambda}\right)$$

$$F_e = \sin^2 \alpha + \sin 2i \sin 2(i-\alpha) \sin^2 \pi \left(\frac{e-o}{\lambda}\right);$$

$o-e$ désigne la différence des longueurs des trajets parcourus dans la lame cristallisée par les deux faisceaux ordinaire extraordinaire, qui interfèrent ensemble ; et λ est la longueur d'une ondulation pour l'espèce de lumière qui les forme, longueur que, dans ce système, on suppose exactement quadruple de celle que Newton

(1) Ces formules sont les mêmes que M. Fresnel vient de publier dans les *Annales de Chimie et de Physique*, pour mai 1821, page 108. (*Note ajoutée à l'impression du Mémoire.*) (B)

a assignée aux intermittences de réflexion et de transmission qu'il a appelées *accès.* En effectuant les valeurs des termes

$$\sin^2 \pi \left(\frac{e-o}{\lambda}\right) \text{ ; et } \cos^2 \pi \left(\frac{e-o}{\lambda}\right)$$

pour toutes les espèces de rayons qui composent le spectre, la somme des F_o et des F_e exprimera la composition et l'intensité totale des deux teintes, dans lesquelles devra se décomposer un rayon blanc, après avoir traversé la lame cristallisée et s'être décomposé dans le prisme de chaux carbonatée qui sert pour analyser sa polarisation. Or, dans chacune de ces expressions partielles, on peut substituer au produit $\sin 2\, i \sin 2\, (i-\alpha)$, la valeur équivalente

$$\cos^2 \alpha - \cos^2 (\alpha - 2\, i) \text{ ou } \sin^2 (\alpha - 2i) - \sin^2 \alpha\, ;$$

et alors les valeurs de F_o, F_e deviennent :

$$F_o = \cos^2 \pi \left(\frac{e-o}{\lambda}\right) . \cos^2 \alpha + \sin^2 \pi \left(\frac{e-o}{\lambda}\right) . \cos^2 (\alpha - 2\, i)$$

$$F_e = \cos^2 \pi \left(\frac{e-o}{\lambda}\right) . \sin^2 \alpha + \sin^2 \pi \left(\frac{e-o}{\lambda}\right) . \sin^2 (\alpha - 2\, i).$$

D'après cela, si l'on représente par O la somme des valeurs de

$$\cos^2 \pi \left(\frac{e-o}{\lambda}\right),$$

et par E la somme des valeurs de

$$\sin^2 \pi \left(\frac{e-o}{\lambda}\right),$$

relatives à tous les rayons du spectre, on aura, lorsque la lumière incidente sera blanche,

$$F_o = O \cos^2 \alpha + E \cos^2 (\alpha - 2\, i)$$
$$F_e = O \sin^2 \alpha + E \sin^2 (\alpha - 2\, i).$$

Ces expressions sont absolument identiques à celles que nous avons obtenues plus haut pour la lumière blanche, d'après la considération directe des phénomènes. Leur interprétation physique immédiate est aussi exactement conforme au principe que j'avais tiré de l'expérience, savoir : que la lumière totale $O+E$, transmise à travers la lame cristallisée, se comporte, après son émergence, dans le prisme de chaux carbonatée, précisément comme si elle était composée de deux teintes distinctes et complémentaires, dont l'une O conserverait la polarisation qui lui avait été primitivement imprimée dans l'azimut zéro, et l'autre E aurait reçu une direction de polarisation nouvelle dans l'azimut $2\,i$.

Il y a toutefois une différence essentielle à faire entre les formules de M. Fresnel et les miennes : c'est que les coefficiens O, E, dans mes formules, sont des faits ; au lieu que, dans les siennes, ce sont des expressions hypothétiques. Car, me bornant à dire que la première O est la teinte d'un anneau transmis, la seconde E la teinte de l'anneau réfléchi correspondant, et ayant donné, par les mesures d'épaisseur, le moyen de trouver l'ordre et le point précis de l'anneau qui répond à chaque épaisseur assignée de la lame cristallisée, on voit que je n'emploie absolument que des lois physiques qui sont des résultats d'expériences. Pour M. Fresnel, au contraire, les expressions auxquelles il parvient étant déduites d'un système sur la nature de la lumière, et étant présentées comme des conséquences rigoureuses de ce système, il faut, indépendamment de l'exactitude mathématique de leur déduction, qu'elles représentent numériquement et avec rigueur les teintes des anneaux pour le cas des lames de chaux sulfatée, du moins dans la li-

mite de l'exactitude physique avec laquelle cette identité peut être constatée. Je ne veux pas examiner ici ce que cette application des formules de M. Fresnel a de plus ou de moins probable, je me borne à en faire sentir la nécessité logique. Les théories mathématiques sont le dernier degré de science auquel l'esprit humain puisse s'élever dans l'étude de la nature ; elles sont ainsi bien supérieures aux simples lois physiques dont elles embrassent et enchaînent tous les résultats ; mais cette valeur qu'elles ont, elles la doivent à la sévérité, à la connexion des épreuves qu'elles peuvent subir sans se démentir elles-mêmes, et elles ne sauraient s'établir et subsister qu'à ce prix (1).

---

(1) L'expression analytique

$$\sin^2 \pi \left(\frac{e-o}{\lambda}\right)$$

ne doit pas seulement, dans le système de M. Fresnel, représenter les teintes des images qui perdent leur polarisation primitive dans les phénomènes des lames cristallisées ; elle doit reproduire encore les teintes réfléchies par les lames minces d'air ou vide, ou de toute autre substance, lorsqu'on y met, au lieu de $o-e$, la longueur du trajet de la lumière dans ces lames, longueur qui, sous l'incidence perpendiculaire, est, d'après le système des ondulations, double de l'épaisseur de la lame même. Désignons donc cette épaisseur par e', et nommons i la longueur d'un des accès de Newton pour l'espèce de rayon et la nature de la substance réfringente que l'on considère ; λ sera ainsi égal à $4i$; et, en introduisant ces élémens dans l'expression

$$\sin^2 \pi \left(\frac{e-o}{\lambda}\right),$$

Jusqu'ici je ne trouve rien dans le rapport qui attaque explicitement les lois que je viens d'exposer. Mais j'ai dû aller plus loin; et, puisque l'analyse physique des anneaux colorés avait été faite avec tant d'habileté par

---

on aura :

$$\sin^2\left(\frac{\pi}{2}\cdot\frac{e'}{i}\right) \text{ ou } \sin^2 90^\circ\cdot\frac{e'}{i},$$

pour exprimer l'intensité de chaque espèce de lumière simple qui compose les anneaux réfléchis par une lame d'une épaisseur déterminée. Or, il est facile de voir que cette expression n'est pas propre à représenter ce phénomène; car, à la vérité, elle rend l'intensité nulle quand l'épaisseur e' est l'un des termes de la série o, $2i$, $4i$, $6i$, et elle la porte à son *maximum* quand l'épaisseur est i, $3i$, $5i$, $7i$, etc. Mais elle ne satisfait point aux valeurs intermédiaires, puisqu'elle fait varier l'intensité graduellement et continuement d'une de ces limites à l'autre; au lieu qu'en observant réellement les anneaux réfléchis formés par une lumière homogène, on les voit alternativement lucides et noirs, comme Newton les a en effet décrits. Et, quoique les intervalles noirs ne soient peut-être pas rigoureusement privés de toute lumière, comme Newton le remarque lui-même, néanmoins la proportion de réflexion que l'on y observe est si excessivement faible *quand la lumière incidente est parfaitement simple*, que l'on peut la négliger dans la détermination des nuances composées produites par la superposition progressive de tous les anneaux que la lumière blanche forme; et c'est encore ce que Newton a fait, tant dans la Table des épaisseurs qu'il a calculée, et dont j'expliquerai ailleurs la formation, qui est demeurée jusqu'ici un mystère, que dans la construction géométrique par laquelle il a représenté les teintes successives des anneaux.

Newton, j'ai dû m'emparer de cette analyse comme d'une nouvelle série de faits, et m'en servir pour remonter aux modifications individuellement éprouvées dans les lames de chaux sulfatée par chaque rayon de lumière simple.

Car il a fondé l'une comme l'autre sur la loi d'intermittence rigoureuse, en limitant la nature et la proportion de chaque espèce de lumière simple réfléchie à chaque épaisseur donnée, non pas à l'aide d'une loi hypothétique d'intensités, comme je l'avais supposé dans mon *Traité de Physique*, mais sans hypothèse, d'après les seules relations de continuité qu'il avait découvertes entre les accès de toutes les nuances du spectre, relations que M. Blanc a heureusement retrouvées, et que j'ai publiées dans la seconde édition de mon *Précis de Physique*. La Table d'épaisseurs de Newton, construite sur ces seuls fondemens, a toujours été trouvée dans un accord parfait avec les teintes des anneaux formés par réflexion dans les lames minces dont les forces réfléchissantes sont très-peu énergiques; ce qui est le seul cas que Newton ait considéré. Si donc le phénomène de la réflexion de la lumière homogène dans ces lames ne s'opère pas rigoureusement par intermittences, du moins la loi analytique qui l'exprime doit être telle qu'elle donne une réflexion excessivement languissante et faible dans les intervalles noirs, puis aux limites de ces intervalles une réflexion rapidement et presque subitement croissante, qui se soutienne pendant la plus grande partie des intervalles lucides presque sans altération. Or, c'est à quoi ne peut satisfaire une loi d'intensité exprimée par le carré du sinus d'un arc proportionnel à l'épaisseur, comme M. Fresnel le suppose, ou plutôt comme il le déduit de ses idées sur les ondes lumineuses. L'opposition d'une pareille loi avec les alternatives de réflexion et de transmission de la lumière simple

Alors, d'après l'identité des lois physiques de ces deux phénomènes, il devenait évident que les alternatives de transmission et de réflexion qui ont lieu dans les anneaux, répondaient à des alternatives de polarisation suivant les

---

se reproduit également dans les teintes composées formées par la lumière blanche; car, en calculant ainsi ces teintes pour les diverses épaisseurs fixées par Newton, comme offrant chacune d'elles dans sa plus grande intensité, on retrouve en effet, assez bien, la même succession de leurs nuances que la Table de Newton donne d'après la loi des intermittences; ce qui tient à ce que ces nuances sont toujours principalement déterminées par celles des couleurs qui se trouvent alors à leur *maximum* ou à leur *minimum* de réflexion, deux cas dans lesquels la périodicité du sinus s'accorde avec la loi d'intermittence; mais, quant à la vivacité des teintes, elle est incomparablement trop faible, parce que le carré du sinus qui exprime l'intensité de chaque couleur simple variant d'une manière continuement progressive, ne détache pas assez les couleurs simples les unes des autres, et en mêle ensemble des proportions fort sensibles, même dans les cas où, par le fait, elles doivent se trouver absolument séparées. Ainsi, par exemple, dans une épaisseur d'air égale à 2 millionièmes de pouce anglais, la formule de M. Fresnel donne pour teinte réfléchie un mélange presque uniforme de toutes les couleurs, formant un blanc à peine bleuâtre qui contiendrait plus de $\frac{1}{3}$ de toute la lumière réfléchie dans le blanc du premier ordre où l'intensité de la réflexion est à son *maximum*; tandis que, d'après la Table de Newton et d'après l'expérience, cette épaisseur répond au bord noir de la tache centrale, où commence la première réflexion du violet extrême. De même, l'épaisseur 9, qui répond au rouge du premier ordre, donnerait, suivant la formule de M. Fresnel, un rouge com-

directions o et $2\,i$, c'est-à-dire, suivant le sens de la polarisation primitive et à égale distance de l'autre côté de la section principale de la lame cristallisée; et, comme dans l'hypothèse de la matérialité de la lumière, une

---

posé environ des $\frac{7}{13}$ de tous les rayons rouges qui forment le spectre, joints à $\frac{2}{5}$ des orangés, $\frac{7}{25}$ des jaunes, $\frac{1}{10}$ des verts, $\frac{1}{16}$ des violets, et à des proportions presque insensibles d'indigo et de bleu, le tout comprenant un cinquième de toute la lumière réfléchie au *maximum* des anneaux; ce qui produit une sorte de rouge mélangé, telle pour l'œil qu'on la formerait avec deux parties de lumière blanche et trois de rouge; tandis que, selon les mesures prises par Newton, le rouge de cet ordre est formé uniquement de la portion du rouge située vers l'extrémité du spectre, à-peu-près jusqu'au tiers de tout le rouge, sans aucun mélange sensible d'aucune autre couleur; ce qui tient à ce que l'épaisseur 2 millionièmes de pouce a été choisie par Newton *au-delà* de la première alternative de réflexion du dernier orangé, par conséquent dans la seconde alternative de transmission de toutes les couleurs plus réfrangibles que le rouge, et *avant* le commencement de la seconde alternative de réflexion du violet extrême. La teinte qui suit dans la Table de Newton, et qui répond à l'épaisseur $11\frac{1}{6}$, est également dénaturée par la formule de M. Fresnel, qui la donne comme contenant $\frac{7}{9}$ de toute la lumière violette du spectre, jointe à $\frac{5}{9}$ de l'indigo, $\frac{1}{3}$ du bleu, $\frac{1}{9}$ du vert, $\frac{1}{14}$ du rouge, avec des proportions presque insensibles d'orangé et de jaune, le tout formant environ $\frac{5}{19}$ de la lumière totale employée à la formation des anneaux, d'ou résulte une teinte violette telle qu'on la composerait avec 9 parties de blanc et 16 de violet du spectre; tandis que cette épaisseur a été choisie par Newton, de manière à correspondre au commencement de la seconde alternative de réflexion du violet et de l'indigo, sans aucun mé-

molécule de lumière simple qui traverse un milieu épais doit y éprouver successivement ces alternatives de disposition à se réfléchir ou à se transmettre, de même, mais par le seul fait de l'identité des lois, une molécule de lumière simple qui traverse une lame cristal-

---

lange sensible des autres couleurs. La même discordance subsiste dans toute la série des teintes plus composées; mais elle s'y montre avec moins d'évidence, parce que le nombre des couleurs simples qui s'y mêlent, même dans la loi d'intermittences, devient plus considérable. Or, cette discordance doit avoir lieu également, par les mêmes motifs, pour les teintes qui perdent leur polarisation primitive dans les lames cristallisées, lorsque ces teintes sont le produit d'une loi de polarisation intermittente, comme cela a lieu d'après l'observation, au moins près des axes de double réfraction des cristaux, puisque les anneaux qui s'y forment, avec la lumière polarisée homogène, paraissent alternativement noirs et lucides comme ceux des lames minces, et offrent de même une égalité sensible dans les alternatives d'épaisseurs auxquelles ils répondent. De tout cela faut-il conclure que ces phénomènes et ceux des anneaux colorés ordinaires sont incompatibles avec le système des ondulations de la lumière? Non sans doute; mais seulement que la loi d'intensité de ces ondes, si elles existent, n'est pas encore connue, et qu'elle ne peut pas, au moins dans ces circonstances, être représentée par l'expression analytique que M. Fresnel a déduite de son système sur les constitutions et les mouvemens de l'éther lumineux; ce qui n'empêche pas que les conséquences de cette expression, quoique inexactes en général, ne puissent s'accorder avec les phénomènes dans les *maxima* et les *minima* de la réflexion. (*Note ajoutée après la lecture.*)

lisée dans les circonstances énoncées plus haut, doit, selon ce que nous indique l'espèce de réfraction qu'elle subit dans le prisme de chaux carbonatée avec lequel on l'analyse, être alternativement polarisée dans les directions o et $2\,i$, c'est-à-dire suivant la direction de la polarisation primitive et de l'autre côté de la section principale de la lame à égale distance, précisément comme si elle oscillait autour d'un axe dirigé suivant cette section même : c'est ce mode alternatif de polarisation que j'ai appelé la *polarisation mobile.* Je suis encore persuadé aujourd'hui qu'il est exact, *comme représentation de ces phénomènes*, et je ne lui attache pas d'autre valeur. Ainsi, je ne serais pas étonné si l'on venait à découvrir qu'il se produit autrement que par un mouvement oscillatoire des molécules lumineuses, ou en vertu de quelques propriétés des rayons que j'aurais ignorées. Mais cela ne changerait rien aux lois physiques des phénomènes, telles qu'elles se trouvent exprimées par mes formules. Nous sommes encore si éloignés de savoir ce que c'est que la lumière, qu'on ne peut guère de longtemps se flatter d'y découvrir autre chose que des lois.

Si l'on se rappelle la construction géométrique par laquelle Newton a exprimé la succession des couleurs des anneaux pour les diverses espèces de lumière simple de réfrangibilité diverses, on sait que, bien qu'elle soit générale dans ses principes, elle est spécialement appropriée au cas de forces réfléchissantes très-faibles, comme sont celle des corps diaphanes observés sous l'incidence perpendiculaire, ce qui est le seul cas que Newton ait eu en vue. Or, en adoptant, pour les phénomènes des lames cristallisées, la série des teintes données par cette

construction, je n'ai pas dû en adopter aussi toutes les conséquences théoriques particulières aux anneaux que Newton considérait; et, la loi de périodicité étant la seule chose commune, j'ai dû en déduire seulement les résultats de la périodicité inégale pour les diverses espèces de lumière simple. Ainsi, dans le phénomène des anneaux, lorsqu'il est produit par des forces réfléchissantes très-peu énergiques, une grande portion de la lumière incidente, et même la portion de beaucoup la plus considérable, échappe à la réflexion, même dans les épaisseurs où celle-ci est la plus abondante; et, se mêlant à la portion complémentaire des anneaux réfléchis, laquelle seule forme les anneaux colorés transmis, elle affaiblit l'éclat de leurs teintes par son uniformité. J'ai dû rejeter cette lumière étrangère, pour l'application particulière aux phénomènes que je considérais, et avec lesquels la construction de Newton n'avait d'autre rapport que celui d'une loi de périodicité pareille. Or, il existe dans la construction de Newton une autre particularité qui tient aussi à la faiblesse de forces réfléchissantes dont il avait à représenter les effets; et cette particularité est que, à cause de cette faiblesse même, il a dû considérer la première épaisseur où la réflexion commence sur chaque espèce de molécule lumineuse, comme sensiblement égale à la moitié de la longueur d'un de ses accès; parce qu'en effet c'est seulement à cette épaisseur que les molécules lumineuses entrées dans le milieu réfringent dans les dernières phases de l'accès de transmission où toutes se trouvent, commencent à devenir susceptibles d'être réfléchies par des forces réfléchissantes très-peu énergiques. Newton prévient lui-même

que cette limite n'est qu'une approximation qui rend sa construction plus simple, parce qu'alors les anneaux lucides formés par la réflexion d'une lumière homogène, se trouvent sensiblement compris entre les mêmes différences d'épaisseur que les intervalles noirs qui les séparent. Mais, lorsque l'on considère des forces réfléchissantes plus énergiques, la première réflexion doit commencer à une épaisseur moindre qu'un demi-accès, parce que les mêmes molécules lumineuses dont je parlais tout-à-l'heure se trouvent, avant d'y être arrivées, dans une phase de réflexibilité assez énergique pour être réfléchies effectivement; et, de même, la dernière réflexion doit finir alors à une épaisseur plus grande qu'un accès et demi, parce que les molécules lumineuses qui se réfléchissaient les dernières à cette épaisseur, sous l'influence de forces réfléchissantes très-faibles, devront, avec des forces plus puissantes, être réfléchies dans une phase moins énergique de réflexibilité. De là, comme je l'ai fait voir dans mon Traité de Physique, il résulte que les alternatives d'épaisseur auxquelles la réflexion et la transmission se succèdent pour une même molécule lumineuse sont encore rigoureusement égales entre elles; mais, dans la même espèce de lumière homogène, chaque molécule lumineuse commence sa première alternative de réflexion à une époque et à une épaisseur différentes selon la phase de l'accès de transmission où elle s'est trouvée en entrant dans le milieu; ce qui fait que, si la lumière réfractée se trouve uniformément répartie entre toutes les phases de ce genre d'accès, les alternatives d'épaisseur des anneaux lucides, vus par réflexion dans une lumière rigoureusement homogène, deviennent plus grandes que

les intervalles noirs qui les séparent. Alors, par une conséquence nécessaire, si, au lieu d'anneaux simples, on considère le système d'anneaux composés formés par la lumière blanche, l'empiètement successif des anneaux simples de diverses couleurs, produits par cette lumière, sera différent de celui que Newton considérait; et ainsi les teintes de ces anneaux devront, mathématiquement parlant, différer de celles qu'il a décrites. Mais si l'élargissement des anneaux simples est peu considérable, ou si même, avec une plus grande extension d'anneaux, la lumière simple de chaque couleur se trouve, à son entrée dans le milieu, inégalement répartie entre toutes les phases de l'accès commun de transmission, de manière que le plus grand nombre des particules lumineuses se trouve alors vers le milieu de cet accès, et que les autres soient distribuées dans les autres phases du même accès, suivant une progression rapidement décroissante, dans ce cas, quoique la réflexion pût s'opérer, ou s'opérât en effet, sur quelque molécule presque dès l'origine du milieu, et se continuât de même sur d'autres molécules, plus long-temps que dans les anneaux colorés produits par des forces réfléchissantes peu énergiques, cependant, à cause du petit nombre de ces molécules extrêmes, les teintes composées, réfléchies et transmises, différeraient encore très-peu de la table de Newton, de sorte que la différence des unes et des autres pourrait n'être pas aperçue, surtout si on ne la soupçonnait pas (1). L'unique moyen

---

(1) C'est là, je crois, ce qui a lieu dans les teintes des images produites par les lames minces cristallisées, même pour celles

de découvrir cette différence serait donc d'étudier directement les intensités des anneaux réfléchis et transmis dans les diverses phases de leurs progrès, en les formant avec une lumière rigoureusement homogène. Il faudrait ensuite appliquer le commencement de la réflexion et de la transmission de chaque molécule à son origine propre, déterminée par la phase particulière de l'accès de transmission où elle se trouve immédiatement après son entrée dans le milieu réfringent; après quoi, il ne resterait plus qu'à appliquer périodiquement et indéfiniment à chaque molécule, à partir de cette origine, les alternatives rigoureusement égales d'accès qui conviennent à sa réfrangibilité propre. Or, c'est ainsi, et précisément ainsi, que l'on doit, à ce qu'il me semble, analyser les alternatives de polarisation qui s'observent dans les lames cristallisées; et alors on ne sera pas étonné de voir qu'un faisceau lumineux homogène transmis, dans certains cas, à travers ces lames, se partage et se répartisse progressivement entre les deux sens de polarisation que l'on y observe, comme M. Fresnel l'objecte contre l'idée d'une polarisation intermittente et alternative. C'est que cette lumière, même lorsqu'on la suppose rigoureusement identique dans sa nature, n'a pas toutes ses particules,

---

qui, comme les lames de chaux sulfatée et les micas, à un ou à deux axes, paraissent suivre avec le plus de fidélité la Table de Newton; car, en étudiant avec attention celles de ces teintes qui répondent aux limites des alternatives de réflexion ou de transmission des couleurs extrêmes, j'ai cru y reconnaître un mélange de ces couleurs sensiblement plus étendu que la réflexion ne le produit dans les anneaux colorés formés par des forces réfléchissantes très-peu énergiques. (*Note ajoutée après la lecture.*)

à leur entrée dans les lames, exactement dans la même phase d'accès; d'où il suit que les unes commencent leurs alternatives de polarisation plus tôt et les autres plus tard, selon cet état, en sorte que l'intermittence n'a pas lieu et ne peut pas avoir lieu pour le faisceau total qu'elles composent, mais seulement pour chacune d'elles individuellement. Quant à la loi de cette progression et de ce partage, elle ne peut être déterminée que par des expériences très-délicates; et même, d'après quelques recherches que j'ai commencées dans cette vue, je serais porté à croire qu'elle varie avec l'énergie des forces qui produisent la double réfraction, c'est-à-dire, avec l'inclinaison des rayons sur les axes des cristaux qui les réfractent; les anneaux formés par chaque espèce de lumière sensiblement unicolore, offrant d'abord, près de ces axes, des intermittences de polarisation nettement tranchées, tandis que, sous des inclinaisons plus grandes, ils s'étalent graduellement jusqu'à faire quelquefois disparaître leurs intervalles. Au reste, quel que soit ce mode de partage, il ne serait peut-être pas parfaitement sûr de le déterminer avec le verre rouge dont MM. Arago et Fresnel ont fait usage, et dont M. le Rapporteur a bien voulu me confier un échantillon pour répéter leurs expériences; car je me suis assuré que ce verre transmet, non-seulement une certaine espèce de rouge, mais laisse aussi passer des rayons jaunes et même quelques rayons verts; d'où il est probable qu'il en transmet aussi de diverses espèces de rouges et même d'orangés, quoique sans doute dans une très-petite proportion. A la vérité, on n'aperçoit pas cette diversité de couleurs par des réfractions même très-énergiques, et cela suffit pour le très-grand nombre des expériences; mais

la réfraction n'est pas, à beaucoup près, le moyen le plus précis que l'on puisse employer pour discerner les rayons de nature diverse; et les phénomènes d'intermittences, dépendans de l'inégale longueur de leurs accès, sont bien plus propres à les séparer quand on leur fait subir des alternatives nombreuses. C'est par des moyens pareils que j'ai reconnu ce fait (1); et, quelque faible que soit, dans la lumière transmise à travers ce verre, la proportion des rayons qui accompagnent le rouge, leur présence suffit pour montrer que ce rouge lui-même n'est pas rigoureusement simple; d'où il résulte que les alternatives de polarisation, en se multipliant, doivent de plus en plus séparer ses diverses parties hétérogènes en vertu de l'inégale longueur de leurs

---

(1) Par exemple, en observant les anneaux formés par la lumière polarisée autour d'un des axes de la topaze blanche dans une plaque taillée perpendiculairement à cet axe. Alors, d'après la loi générale de la double réfraction que j'ai donnée dans les *Mémoires de l'Académie* pour 1818, les diamètres des anneaux successifs croissent simplement en progression arithmétique, de sorte que les contours mêmes des anneaux sont équidistans dans une étendue visuelle considérable; ce qui les montre plus détachés les uns des autres que dans les cristaux à un axe, ou dans les anneaux réfléchis par des lames minces limitées par des surfaces sphériques, ceux-ci se rapprochant les uns des autres à mesure qu'ils s'éloignent du centre. C'est aussi par les observations des anneaux formés autour des axes des cristaux que l'on peut le mieux reconnaître l'intermittence de la loi de polarisation qui les forme, les intervalles lucides étant égaux aux intervalles noirs. (*Note ajoutée après la lecture.*)

accès, et les amener ainsi à des époques différentes dans la même image, jusqu'à ce qu'enfin ces alternatives étant devenues suffisamment nombreuses, les répartissent toutes en quantité semblablement égales dans les deux sens de polarisation o et $2i$: ce qui produira dans les deux images une égalité d'intensité complète qui se maintiendra sans modification sensible dans toutes les alternatives plus nombreuses, comme en effet on l'observe (1); au lieu que, dans les premières alternatives, l'égalité du partage ne

---

(1) C'est pour cela que lorsque l'on transmet un rayon polarisé à travers une lame de chaux sulfatée suffisamment épaisse, si l'on analyse ce rayon par un prisme de chaux carbonatée, et qu'ensuite on le reçoive dans l'œil à travers le verre rouge, on obtient toujours deux images O, E, d'intensités égales, qui n'éprouvent pas le moindre changement appréciable quand on fait varier l'inclinaison de la lame, quoique cette inclinaison puisse changer considérablement, et avec une progression aussi lente qu'on le desire, les longueurs du trajet des faisceaux dans la lame, ainsi que leur inclinaison par rapport aux axes du cristal. Mais cette constance tient à l'hétérogénéité de la lumière transmise et au grand nombre d'alternatives de polarisation qu'elle a subies; car ces alternatives, à mesure qu'elles se multiplient, séparant toujours de plus en plus les particules lumineuses de réfrangibilité diverse, finissent par les répartir, en nombre sensiblement égal, entre les deux sens de polarisation qu'elles prennent successivement; ce qui produit deux images d'intensités égales d'une lumière sensiblement unicolore; de même qu'avec toutes les lumières du spectre transmises à travers ces mêmes lames, il se produit toujours deux images blanches d'égale intensité. (*Note ajoutée après la lecture.*)

peut s'obtenir qu'à certaines épaisseurs, ou sous certaines inclinaisons, périodiquement déterminées par les conditions exposées plus haut.

On voit donc que ce partage progressif de la lumière sensiblement homogène entre les deux alternatives de polarisation *o* et 2 *i*, loin d'être en opposition directe avec l'analyse exacte des phénomènes, comme M. Fresnel, et après lui MM. les Commissaires le supposent, en est au contraire une conséquence très-délicate, que je n'avais pas suffisamment développée. Toutefois, ce fait ayant été présenté dans le rapport comme une objection décisive contre la loi de polarisation que j'avais donnée, j'ai voulu étudier directement le sens de polarisation des faisceaux mêmes que le verre rouge donnait; et, en les soumettant à des épreuves très-précises déduites de mes formules mêmes, j'ai pu m'assurer que, depuis le premier état de faiblesse de chaque image jusqu'à leur égalité parfaite, les caractères tirés de la polarisation dans l'angle 2 *i* s'observent toujours avec une fidélité et une continuité rigoureuses (1). Ainsi l'on ne doit pas, ce me

---

(1) J'ai fait cette observation en inclinant des lames minces cristallisées sous des angles tels que l'intensité de l'image *O*, formée par la lumière transmise à travers le verre rouge, fût d'abord très-petite, et augmentât graduellement jusqu'à devenir égale à *E*; puis cherchant, dans chaque cas, la position de la section principale de la lame pour laquelle les deux images données par le prisme de chaux carbonatée, avaient des intensités égales; car cette position, qui dépend évidemment de la direction de polarisation des deux faisceaux *O*, *E*, s'accorde avec la supposition de la polarisation de *E* dans l'azimut 2 *i*, et ne s'accorde pas avec une polarisation d'émergence rectangulaire.

semble, dire, avec M. Fresnel et les Commissaires, que ce mode de polarisation a lieu seulement dans certains cas très-particuliers, entre lesquels le rayon se trouve partiellement polarisé, ce qui est une chose vague; ou ne se trouve pas polarisé du tout, ce qui serait contraire à la continuité observée des phénomènes; mais il faut dire que le même mode de polarisation déduit des expériences sur la lumière blanche s'applique encore exactement à la lumière uniforme pour l'œil que le verre rouge transmet, soit que la répartition progressive de cette lumière entre les deux images résulte seulement de la phase inégale d'accès de transmission où ses diverses particules se trouvent lorsqu'elles ont pénétré la lame cristallisée; soit, ce qui est plus vraisemblable, que cette cause de partage se combine avec celle qui résulte d'une petite hétérogénéité dans les rayons transmis.

On a élevé, dans le rapport, une autre objection contre les lois de la polarisation mobile, laquelle est tirée d'une opposition qui aurait lieu entre ces lois et l'expérience, dans le cas où la lumière est transmise à travers deux lames de chaux sulfatée égales, ayant leurs axes croisés l'un avec l'autre sous l'angle de 45°. Il y a plusieurs années que je me suis expliqué avec M. Fresnel sur cette opposition apparente. Elle tient à une application inexacte que j'avais faite, dans cette circonstance, des lois mêmes que j'avais trouvées. En rectifiant cette application, je me suis assuré depuis long-temps que mes formules donnent, dans ce cas, les mêmes variations d'intensité que M. Fresnel avait remarquées; ce qui n'a rien de surprenant, puisque, comme je l'ai montré plus haut, les formules employées par M. Fresnel coïncident exacte-

ment avec les miennes, et donnent les mêmes directions de polarisation quand on les applique aux lames isolées ou superposées (1).

Enfin le rapport attaque aussi la liaison que j'ai indiquée comme devant exister entre les phénomènes de la polarisation mobile et le fait de la polarisation rectangulaire que l'on observe toujours dans les faisceaux doublement réfractés, lorsqu'ils sont assez écartés l'un de l'autre pour que l'œil puisse les recevoir séparément. Ici je dois m'expliquer. Les deux modes de polarisation que je viens de décrire sont tous deux certains dans les circonstances où on les observe, en ce sens que chacun d'eux est un résultat positif d'expériences. Il existe même entre les formules qui les expriment une relation singulière que je n'avais pas encore aperçue. C'est que, dans les cas où la lumière transmise à travers les lames cristallisées se partage également entre les deux sens de polarisation qu'on y observe, ce qui arrive lorsque ces lames ont une épaisseur suffisante pour séparer les rayons inégale-

---

(1) L'erreur que j'avais commise tenait à ce que, après avoir déterminé les directions de polarisation des faisceaux émergens, lesquelles sont au nombre de quatre pour deux lames superposées, j'avais calculé leurs intensités partielles comme si le faisceau primitif, après avoir traversé la première lame, devait *toujours* se subdiviser, suivant une proportion invariable, entre les sens de polarisation divers de la seconde, quel que fût l'azimut i, lorsque l'angle des sections principales était constant. Or, cette supposition est évidemment en opposition avec les expériences mêmes sur lesquelles j'ai établi mes formules. Mais il suffit de la corriger pour avoir les formules véritables qui s'appliquent à tous les angles de croisement des lames, comme on peut aisément le vérifier.

ment réfrangibles de chaque couleur jusqu'à les répartir également aux deux limites o et $2i$, alors les deux images données par le prisme rhomboïdal qui sert pour analyser la lumière transmise deviennent, dans toutes les positions possibles de la lame cristallisée, identiquement les mêmes que les donnerait la polarisation rectangulaire; de sorte qu'au-delà de cette épaisseur des lames, les molécules lumineuses pourraient passer d'un de ces états à l'autre, sans qu'il fût aucunement possible de s'en apercevoir par ce genre d'observation. J'ignorais, j'ignore encore comment ce passage s'opère; et, dans cette incertitude, j'avais présenté comme une chose possible qu'il fût progressif, c'est-à-dire que les diverses particules lumineuses, après avoir d'abord éprouvé la polarisation alternative, se fixassent successivement sur le sens intermédiaire de polarisation propre à la polarisation rectangulaire; mais je n'ai dissimulé ni mon doute, ni la singularité de deux effets si différens. J'ai même fait aussi et publié des expériences dans lesquelles je produisais les phénomènes de coloration par le croisement de prismes cristallisés qui, individuellement, donnaient des images sensiblement séparées; et j'ai signalé tout ce que la jonction de ces deux phénomènes pouvait présenter de mystérieux. Je ne puis en donner une meilleure preuve qu'en citant les expressions mêmes dont M. Fresnel s'est servi dans son premier Mémoire, page 30, en parlant des recherches que j'ai publiées, sur cet objet, dans mon *Traité de Physique* : « Quelque surprenantes » que fussent les conséquences de sa théorie, M. Biot » a dû les regarder comme résultant nécessairement des » faits, parce qu'elles étaient déduites d'une hypothèse

» qui les représentait fidèlement, et qui pouvait *seule*
» en rendre raison dans le système de Newton. C'est
» pour faire sentir les inconvéniens de ce système que
» j'ai cru devoir présenter, ou plutôt rappeler ces ob-
» jections que j'ai tirées de l'ouvrage de M. Biot. »
Ces expressions de M. Fresnel me placent précisément dans la position où j'ai toujours voulu me placer moi-même. Je n'ai jamais prétendu, dans mes recherches, établir autre chose que des lois expérimentales. Ainsi, lorsque l'on parviendra à lier entre eux des groupes de faits que je n'aurai pas pu réunir, ou que j'aurai seulement tenté de rapprocher par des inductions, je jouirai de cette extension de la science d'autant plus librement qu'elle ne saurait porter atteinte aux lois physiques que j'ai découvertes, lois que je regarde seules comme durables, et auxquelles j'attache quelque prix.

Ayant ainsi répondu aux objections scientifiques élevées contre les résultats de mes recherches, je dois encore, pour l'intérêt même des sciences et de ceux qui les cultivent, considérer le rapport sous un autre point de vue, je veux dire relativement à l'ordre historique dans lequel les travaux successifs y sont présentés.

Les pièces qui m'ont été remises sont, outre le rapport, la moitié d'un premier Mémoire manuscrit présenté à l'Académie, par M. Fresnel, le 7 octobre 1816, un supplément présenté le 19 janvier 1818, et qui ne se rapporte pas à ce Mémoire, mais à un autre dont on n'a pas encore rendu compte à l'Académie; enfin, deux notes détachées, sans date de présentation, et dont l'une même ne semble pas entièrement achevée. En examinant ces documens, tout incomplets qu'ils sont, j'y ai trouvé avec

plaisir, dans plusieurs passages, la preuve que M. Fresnel ne s'était pas primitivement proposé, pour but de son travail, de montrer que ce qu'il appelle ma *théorie de la polarisation mobile* était, sur beaucoup de points, insuffisante et inexacte, comme MM. les Commissaires ont cru pouvoir l'établir au commencement de leur rapport; mais qu'au contraire, par une marche d'idées plus naturelle, M. Fresnel avait d'abord pris pour base les lois que j'avais trouvées, et avait entrepris de chercher les conditions hypothétiques qu'il fallait introduire dans les interférences pour y satisfaire; précisément comme il l'a fait encore depuis dans un autre travail, où il s'est proposé de représenter, par des ondes lumineuses, les phénomènes de polarisation par rotation que j'ai découverts dans certains fluides (1). Ainsi, à la page 29 de son premier Mémoire, M. Fresnel considère son travail et le mien exactement sous ce point de vue. « Toutes les consé-» quences de ces formules, dit M. Fresnel, sont confir-» mées par l'expérience. Il me semble que cet accord » prouve suffisamment qu'elles représentent aussi fidè-» lement les faits dans la théorie des ondulations, que

---

(1) On a dit, dans la discussion devant l'Académie, que M. Fresnel adoptait sans restriction toutes les expressions du rapport comme offrant l'interprétation exacte de sa pensée; mais cette assertion n'infirme rien de ce que je prétends ici établir; car il ne s'agit nullement de ce que M. Fresnel peut dire ou penser aujourd'hui, mais de ce qu'il a pensé et écrit il y a cinq ans, dans le système d'idées et de notions acquises où il se trouvait alors : or, c'est ce que les pièces écrites à cette époque peuvent seules prouver. (*Note ajoutée après la lecture.*)

» celles de M. Biot dans le système de Newton. A la vérité,
» les siennes ont, sur celles que j'ai employées, l'avantage
» d'indiquer dans chaque cas laquelle des deux images doit
» répondre aux anneaux transmis ou aux anneaux réflé-
» chis; mais l'explication déduite de la théorie des on-
» dulations est bien plus conforme aux principes géné-
» raux de polarisation dans les substances cristallisées. »
Dans un autre passage, page 23, M. Fresnel déclare que c'est sur les résultats de mes observations qu'il a établi certaines conditions nécessaires dans les interférences pour que les deux faisceaux transmis par la lame cristallisée donnent des images colorées telles qu'on les observe. « Voici, dit-il, la règle que j'ai déduite des expériences de M. Biot. » La même déclaration se trouve répétée dans une note manuscrite que M. Fresnel m'avait remise depuis long-temps, et qui contient le résumé de tous les principes dont il fait dépendre les couleurs des lames cristallisées; enfin, elle se retrouve encore dans le second Mémoire dont on n'a pas encore rendu compte à l'Académie, et dont M. Fresnel m'a confié une copie (1).

---

(1) M. Fresnel a cherché si peu à dissimuler cette vérité, qu'il l'a reconnue avec les mêmes expressions dans la Note qu'il a imprimée à la fin du Cahier des *Annales de Chimie et de Physique*, pour mai 1821, page 104. Cela suffit, ce me semble, pour prouver que mes recherches ne lui ont pas été inutiles, et que les lois expérimentales que j'avais le premier établies dans cette classe mystérieuse de phénomènes lui ont offert des données assez exactes pour être employées. Or, cette utilité est la seule chose que je réclame, et je ne crois pas qu'on puisse me l'ôter. (*Note ajoutée après la lecture.*)

A la vérité, MM. les Commissaires citent, dans leur rapport, une expérience de M. Fresnel sur des rhomboïdes croisés, de laquelle ils paraissent déduire la même règle ou une règle équivalente. Mais, en supposant que cette expérience ait réellement toutes les conséquences physiques qu'ils en tirent, ce que je n'ai besoin ici ni de contester ni d'affirmer, on peut sans doute en faire aujourd'hui, si l'on veut, le fondement des formules auxquelles M. Fresnel arrive, et qui sont, comme je l'ai fait voir, les mêmes que celles que j'avais données plusieurs années avant lui, du moins quant aux deux sens de polarisation, et au mode de subdivision des faisceaux entre eux. Mais, dans un rapport lu à l'Académie et soumis à sa sanction, il était juste, ce me semble, de dire ce que M. Fresnel avait trouvé de secours dans les travaux de ceux qui l'avaient précédé; et, surtout dans un rapport qui, par le fait, se trouve embrasser des Mémoires de dates si diverses, et même des notes sans date, l'équité exigeait que les idées de M. Fresnel fussent présentées, avec une attention particulière, dans l'ordre où elles s'étaient succédées réellement. Je demanderais donc à l'Académie qu'il fût fait une rectification à cet égard dans le rapport, s'il devait être adopté. Je demanderais aussi, comme conséquence, que l'on y supprimât l'expression du motif attribué à M. Fresnel, motif à la conception duquel je n'ai pu trouver de prétexte que quelques mots contenus dans une de ces notes sans date, qui, n'ayant pu faire primitivement partie du corps du Mémoire, ne doivent, par conséquent, pas faire supposer une intention première,

et surtout ne peuvent pas en autoriser l'expression dans une lecture faite devant l'Académie.

Mais, indépendamment de ces inexactitudes de détails, le rapport me semble s'écarter des règles généralement établies dans les sociétés savantes pour assurer l'équité de leurs décisions. . . . . (Le reste de ces remarques portant sur la légalité du rapport considéré sous le point de vue des formes académiques, je l'ai supprimé ici comme étant devenu maintenant inutile depuis que l'Académie a seulement adopté les conclusions du rapport, et non pas le rapport même).

Examen *des* Remarques *de M.* Biot.

Par M. Arago.

En ne mettant aucun obstacle à la publication des *Remarques* de M. Biot dans les *Annales de Chimie et de Physique,* je ne me suis pas engagé à les laisser sans réponse ; je vais donc rappeler les objections contenues dans notre rapport, les rapprocher des argumens qu'on leur oppose, et mettre ainsi le lecteur en état de juger par lui-même si elles sont aussi dépourvues de fondement que l'annonce notre savant confrère. J'aurais bien desiré aussi pouvoir me borner à la partie purement scientifique de la discussion ; mais il m'importe de prouver, puisque M. Biot, tout en annonçant qu'il ne s'occuperait point des formes, a prononcé le mot de *légalité* (pages 225 et 258), que le rapport ne

renfermait rien d'illégal, et qu'il ne violait, quoi qu'on en dise, aucune des *règles généralement établies dans les sociétés savantes.*

Aussitôt que M. Biot eut manifesté l'intention de répondre au rapport que nous lûmes devant l'Académie, M. Ampère et moi, le 4 juin 1821, je m'empressai de le lui remettre; j'y joignis, comme pièces à l'appui, les écrits de M. Fresnel dans lesquels tous les argumens dont je m'étais étayé se trouvaient développés. L'un de ces écrits (le Mémoire présenté à l'Académie en 1816) n'était plus complet. J'en prévins M. Biot; je lui fis savoir que la partie qui manquait n'était point relative à ses expériences, qu'elle ne traitait que des modifications apportées par la polarisation aux phénomènes d'interférence, et que je n'avais pu conséquemment y puiser aucune objection contre sa théorie de la polarisation mobile. J'indiquai, de plus, les motifs qui m'avaient imposé l'obligation de séparer la première section du Mémoire de la seconde. Cette première section, du reste, ayant été imprimée depuis long-temps dans les *Annales de Chimie* (c'était précisément pour cela qu'on n'avait pas jugé nécessaire de conserver le manuscrit), j'en fis remettre un exemplaire à M. Biot. Je croyais avoir ainsi satisfait à toutes les convenances et prévenu jusqu'à l'ombre d'une objection : vains efforts! M. Biot s'est obstiné à soutenir, dans la discussion verbale et dans ses remarques écrites, qu'en ne faisant notre rapport que sur la seconde partie du Mémoire original, nous avions violé, M. Ampère et moi, les réglemens de l'Académie. Ce savant physicien oubliait sans doute, quand il nous adressait un reproche

aussi peu fondé, que jamais on n'a contesté aux auteurs qui soumettent leurs ouvrages au jugement de l'Académie le droit de les retirer. Ce qui se fait journellement pour un Mémoire tout entier, est à plus forte raison applicable à un simple chapitre, à un paragraphe isolé. Un écrit ne devient évidemment la propriété d'une société savante qu'après qu'elle a prononcé sur son mérite; jusque-là, l'auteur, éclairé par de nouvelles réflexions ou par les conseils des commissaires, peut le modifier à son gré, et ce serait blesser à la fois l'usage et les convenances que de ne point permettre la rectification d'erreurs qu'on avouerait.

Après avoir ainsi établi, en thèse générale, que M. Fresnel aurait eu le droit de retirer ou de changer une partie quelconque du Mémoire, je dois m'empresser de déclarer que cet habile physicien n'avait rien à rectifier dans son travail; que j'ai fait, moi seul, la suppression dont M. Biot se plaint, et qu'elle était commandée par ces mêmes réglemens qu'on nous accuse si légèrement d'avoir violé. M. Biot, qui s'est si fréquemment associé, pour ses recherches scientifiques, des observateurs étrangers à l'Académie, doit savoir mieux que personne qu'on ne rend jamais compte devant elle des travaux auxquels des Académiciens ont pris part. La première section du Mémoire renfermant des expériences que nous avions faites en commun, M. Fresnel et moi, j'ai *dû* évidemment, soit pour me conformer à l'usage, soit pour ne pas me constituer juge dans ma propre cause, n'examiner, dans le rapport, que la section relative aux couleurs des lames cristallisées.

On a parlé de notes sans date. Je réponds que la date

n'aurait quelque importance que dans une question de priorité : or, je n'ai pas appris, jusqu'ici, qu'aucune prétention de ce genre se soit élevée à l'égard des expériences de M. Fresnel. Si le cas arrivait par la suite, il me serait facile de prouver que ces notes sont de simples développemens du premier Mémoire présenté en 1816. Du reste, je ne les avais volontairement communiquées à M. Biot que pour l'aider dans ses recherches, et j'étais, je l'avoue, bien loin d'imaginer qu'il croirait y trouver le sujet d'un reproche.

M. Biot dit qu'on a puisé des objections dans un Supplément déposé en 1818, et qui ne se rapporte pas au Mémoire principal : le fait est vrai ; mais je ne devine pas quelle conclusion il veut en tirer. M. Fresnel a présenté deux Mémoires. Les commissaires chargés de les examiner les avaient d'abord compris l'un et l'autre dans un seul et même rapport. Il leur parut ensuite, tant pour ne pas fatiguer l'attention de l'Académie que pour répandre sur une matière si compliquée toute la clarté possible, qu'il serait plus convenable de séparer les faits relatifs à la polarisation mobile, d'une seconde classe de phénomènes qui ne se rattachaient à cette théorie que d'une manière très-éloignée, et dont ils se proposaient de rendre compte séparément. Je ne doute pas qu'il n'y ait là une irrégularité flagrante, puisque M. Biot l'affirme ; mais j'avoue que jusqu'ici je n'ai pas eu la satisfaction de l'apercevoir. Ce qui me paraît plus évident, c'est qu'en s'attachant aussi minutieusement aux formes, notre savant confrère fera naître l'idée que les argumens qu'on a opposés à sa théorie lui paraissaient, au fond, beaucoup plus solides qu'il n'a l'air de le reconnaître.

Le long intervalle de temps qui s'est écoulé entre la présentation du Mémoire de M. Fresnel et celle de notre rapport a été aussi l'objet de quelques observations critiques dont il ne m'a pas été possible de deviner le but. J'aurais conçu, par exemple, que M. Biot voulût attribuer les inexactitudes dans lesquelles, suivant lui, nous sommes tombés à la précipitation de notre travail; mais est-il bien naturel, quand on nous accuse d'avoir mal interprété diverses expériences, d'insinuer en même temps que l'examen auquel nous nous sommes livrés n'a pas été assez prompt? Au reste, je n'éprouve aucune répugnance à déclarer ici, comme je l'ai déjà fait devant l'Académie, que les longs retards qu'on nous reproche ont été principalement occasionés par le desir d'éviter la discussion dans laquelle je me trouve maintenant engagé. Les Mémoires que M. Biot a publiés sur la théorie de la polarisation mobile formeraient plus de deux gros volumes in-4°. Ce n'est certainement pas trop, si ces Mémoires établissent, comme on l'a prétendu, que les molécules de lumière, dans leur trajet au travers des cristaux, oscillent sur elles-mêmes à la manière d'un pendule; tandis que le tout pourrait, sans difficulté, être réduit à une quarantaine de pages si les objections de M. Fresnel sont fondées. Il était donc bien présumable qu'en parlant favorablement du travail de ce jeune physicien, nous n'obtiendrions pas l'assentiment de notre savant confrère; aussi, aurai-je tardé long-temps encore, peut-être, à appeler l'attention de l'Académie sur cet objet, si M. Biot n'avait lui-même, tout récemment, engagé M. Fresnel à me presser de faire le rapport. Je crus alors, je l'avoue, que M. Biot, à qui le Mémoire

avait été anciennement communiqué, passait condamnation sur les objections qu'il renferme. Il est aujourd'hui trop évident que j'avais mal interprété sa démarche, mais on conviendra, du moins, que mon erreur était excusable.

Après avoir ainsi répondu aux divers reproches qu'on nous a adressés, pourrai-je, à mon tour, et avant d'entrer dans le fond de la question, discuter quelques expressions de l'écrit qu'on vient de lire : « Les commissaires, » dit M. Biot, page 225, *ayant déclaré*, *dans cette se-* » *conde séance*, qu'ils ne demandaient pas à l'Académie » de se prononcer sur le rapport même, mais seulement » sur les conclusions qui le terminent, etc. » Les commissaires n'avaient point oublié que l'Académie se prononce uniquement sur les conclusions; jamais ils n'ont réclamé autre chose, et c'est bien gratuitement qu'on leur attribue une prétendue *déclaration* d'où semblerait résulter qu'à l'origine ils avaient fait des demandes contraires aux usages. Quant à M. Biot, il voulut d'abord, je ne dis pas faire rejeter notre travail, ce qui assurément lui était bien permis, mais obtenir de l'Académie que le titre même de *Rapport* fût rayé. Cette proposition n'ayant eu aucune suite, M. Biot se borna à demander la suppression de divers passages qu'il indiquait. Je repoussai, comme je le devais, ces nouvelles prétentions, et pour couper court à une discussion qui durait déjà depuis trop long-temps, je fis remarquer que les modifications qu'on réclamait étaient relatives au corps même du rapport, c'est-à-dire, à une partie sur laquelle, d'après des usages anciens que l'Académie avait de nouveau sanctionnés dans une occa-

sion toute récente, elle n'aurait pas à se prononcer. Si c'est là ce que M. Biot appelle la *déclaration* des commissaires, je ferai remarquer qu'il a employé une expression impropre, puisqu'elle tendrait à faire croire que nous avons consenti, M. Ampère et moi, à sortir de la règle commune, ce qui est contraire à la vérité. En faisant une analyse détaillée du Mémoire de M. Fresnel, je remplissais un devoir qui m'avait été imposé. En défendant avec persévérance cet important travail dans le sein même de l'Académie contre les attaques d'un académicien, je croyais rendre un service aux sciences. Sans vouloir deviner quelle décision l'assemblée aurait prise, si ses réglemens ne lui avaient pas prescrit de se borner aux conclusions du rapport, je puis dire que la bienveillance dont elle m'honora durant la lecture et pendant la discussion, me permettait de croire qu'une critique franche ne lui paraissait pas, comme à M. Biot, une violation des formes académiques. Qui m'aurait donc forcé, dans la *seconde séance*, au pas rétrograde qu'on m'attribue ? Comment, du 4 au 11 juin, mes droits se seraient-ils affaiblis ? Dans cet intervalle, il est vrai, on me fit savoir par écrit que si je consentais à retirer le rapport, on retiendrait les foudres dont j'étais menacé. La paix et la tranquillité sont des biens très-desirables, mais M. Biot doit se rappeler que je ne consentis pas à les acquérir au prix d'une telle concession.

Encore un mot, et j'arrive à la partie scientifique de la discussion. Dans cette *seconde séance*, où M. Biot semble vouloir nous faire jouer, M. Ampère et moi, les rôles de pécheurs repentans, nous modifiâmes, dit-il, les conclusions de manière « qu'elles n'exprimaient plus

» que de justes éloges du travail de M. Fresnel ». Qu'exprimaient donc les conclusions primitives ? Le lecteur va en juger.

Conclusions adoptées par l'Académie le 11.

Les résultats curieux renfermés dans le Mémoire que l'Académie avait renvoyé à notre examen sont de nouvelles preuves de la persévérance infatigable, de l'exactitude et de la rare sagacité de M. Fresnel; ses expériences occuperont par la suite, quand la théorie des interférences aura reçu de nouveaux développemens et sera plus répandue, une place distinguée parmi les plus ingénieux travaux des physiciens modernes. Dès à présent elles établissent qu'il y a, non pas seulement de simples analogies, mais la liaison la plus intime entre les phénomènes de coloration des lames cristallisées, le phénomène des anneaux colorés ordinaires et celui de la diffraction. A notre avis, M. Fresnel prouve jusqu'à l'évidence que toutes ces couleurs sont de simples effets d'interférence. Nous ne proposerons pas néanmoins à l'Académie de se prononcer sur une matière aussi difficile et qui, peut-être, sera encore entre les physiciens l'objet de beaucoup de contestations : nos conclusions se borneront à demander que l'important Mémoire de M. Fresnel soit inséré dans le *Recueil des Savans étrangers*.

Conclusions lues à la séance du 4.

Le Mémoire dont nous venons de rendre compte à l'Académie montre d'une manière incontestable le mode de production des couleurs que développent les lames cristallisées douées de la double réfraction, lorsqu'après les avoir exposées à un faisceau polarisé, on dissèque les rayons transmis avec un rhomboïde de spath calcaire ou à l'aide d'un prisme

achromatisé. M. Fresnel établit aussi qu'il y a, non pas seulement de simples analogies, mais la liaison la plus intime entre ces phénomènes et ceux des anneaux colorés ordinaires et de la diffraction. Les expériences difficiles, nombreuses et variées, sur lesquelles les résultats s'appuient, sont une nouvelle preuve de la persévérance infatigable, de l'exactitude et de la rare sagacité de M. Fresnel. Il nous semble que ces expériences occuperont par la suite, quand la théorie des interférences aura reçu de nouveaux développemens et sera plus répandue, une place distinguée parmi les plus importans travaux des physiciens modernes. Nous proposerons conséquemment à l'Académie de donner son approbation au Mémoire qu'elle avait renvoyé à notre examen, et de décider qu'il sera imprimé dans le *Recueil des Savans étrangers*.

Dans cette rédaction, nous proposions à l'Académie de se prononcer sur le mérite du Mémoire, de lui donner son approbation. Nous pensions alors que la question serait l'objet d'une discussion contradictoire : or, telle est, suivant nous, la netteté des expériences de M. Fresnel; telle est l'évidence des conclusions qu'il en tire, que nous espérions faire partager notre persuasion à ceux-là même qui se sont le moins occupés d'optique. Dès les premiers mots de la réplique verbale de M. Biot, il me fut démontré que le débat auquel je m'attendais n'aurait aucun résultat, et qu'il porterait plutôt sur ce qu'on appelait des irrégularités de forme que sur le fond même de la question. N'ayant jamais eu, M. Ampère et moi, la prétention de faire adopter sur parole des résultats contestés par un physicien du mérite de M. Biot, nous modifiâmes aussitôt nos conclusions de manière

que l'Académie n'eut plus à se prononcer que sur les justes éloges auxquels M. Fresnel avait droit. Le lecteur aura remarqué que tout en faisant ces modifications, nous donnâmes plus de force à l'expression de la conviction personnelle où nous étions que la théorie de la polarisation mobile est erronée. Il reste à examiner aujourd'hui si les nouvelles *Remarques* de M. Biot nous forceront d'apporter quelques changemens à notre première opinion.

En lisant les *Remarques* de M. Biot, je me suis involontairement rappelé le petit jeu de société connu sous le nom de *propos interrompus*, et dans lequel, comme on sait, il faut répondre au hasard à une question qu'on n'a pas entendue. J'ai montré l'inexactitude de la théorie de la polarisation mobile par des expériences directes, positives : on m'oppose une grande dissertation sur la théorie newtonienne des accès dont je n'ai pas dit un seul mot. Si j'examine la question du sens de polarisation dans les lames minces, on répond que des formules empiriques dont je n'ai parlé ni en bien ni en mal, représentent exactement la succession des couleurs. M. Biot ajoute, ce que je n'ai point contesté, que ses ouvrages ont pu être de quelque secours à M. Fresnel ; qu'il possède même des écrits dans lesquels on lui rendait cette justice, etc., etc. Je ne m'enfoncerai pas dans de telles digressions ; car, outre que je n'en devine pas bien le but, elles auraient évidemment pour effet d'obscurcir la question. J'ai rapporté plusieurs expériences qui me paraissaient en opposition manifeste avec la théorie de la

polarisation mobile; rappelons-les, et voyons comment on y répond.

M. Biot dit clairement, dans dix endroits différens de ses ouvrages, qu'un rayon polarisé, de lumière simple, qui traverse une lame mince cristallisée, douée de la double réfraction, est polarisé tout entier à sa sortie, ou dans le plan primitif ou dans l'azimut $2i$. M. Fresnel a contesté l'exactitude de ce principe; M. Biot a persisté dans son opinion pendant la discussion verbale devant l'Académie, et attribuait ce qu'il appelait notre méprise au défaut d'homogénéité de la lumière transmise par le verre coloré dont nous nous servions. Aujourd'hui, dans ses *remarques*, page 246, il déclare que « *il n'est pas* » ÉTONNÉ *de voir qu'un faisceau lumineux homogène* » *transmis, dans certains cas, à travers ces lames* » (minces), *se partage et se répartisse progressivement* » *entre les deux sens de polarisation que l'on y observe;* » ce qui revient à dire qu'il n'est pas étonné que M. Fresnel ait raison. Quant à moi, si je m'étonne ici de quelque chose, c'est de la grande modestie de M. Biot. Avant de croire qu'un physicien aussi habile était tombé dans une telle erreur, il m'avait paru nécessaire, je l'avoue, de répéter ses expériences un grand nombre de fois, et ce n'est pas sans beaucoup d'hésitation que je me suis enfin rendu à l'évidence des faits. Aussi, en prenant acte, dans l'intérêt des sciences, de l'aveu que je viens de transcrire, je serai de bonne composition sur l'obscurité dont on l'a enveloppé. Je ne relèverai pas non plus les tentatives qu'on a faites pour insinuer qu'en énonçant la loi de l'azimut $2i$, on entendait parler d'une molécule isolée, et non pas d'un rayon : cette version tardive n'obtien-

drait d'ailleurs aucun crédit auprès des personnes qui ont eu l'occasion de remarquer avec quels minutieux détails toutes les expériences de polarisation ont été rapportées dans les ouvrages de M. Biot, et quelle clarté cet écrivain distingué sait répandre, quand il le veut, sur les théories les plus difficiles.

En parlant, dans le rapport, des formules que M. Fresnel a données pour représenter les successions variées de couleurs qu'offrent les lames cristallisées, j'ai dû, pour prévenir toute objection, faire remarquer que l'opposition qui existait entre ces formules et une expérience de M. Biot, dans le cas des lames croisées, tenait uniquement à l'inexactitude de l'expérience. Comme on avoue aujourd'hui cette inexactitude (page 251), j'accorderai très-volontiers que M. Biot l'avait lui-même reconnue *il y a plusieurs années*, pourvu qu'il veuille convenir qu'elle n'est pas encore rectifiée dans ses ouvrages imprimés.

Parmi tous les reproches que M. Biot m'adresse, il en est un que j'aurais vivement senti s'il était mérité, je veux parler des inexactitudes qu'il annonce avoir remarquées dans le rapport, *relativement à l'ordre historique dans lequel les travaux successifs y sont présentés* : mais où peut être le fondement d'un tel reproche ? Les expériences de M. Fresnel, que j'ai rapportées, étant la critique directe des expériences de M. Biot, personne, ce me semble, ne pouvait douter que celles-ci n'eussent l'antériorité ! Je suis prêt, du reste, à donner à cet égard toutes les satisfactions qu'on pourra desirer. Pour le prouver, je transcrirai ici quelques détails historiques relatifs à l'expérience des

lames croisées, qui d'abord m'avaient paru inutiles, mais où l'on verra aujourd'hui la preuve de ma bonne volonté.

M. Biot, si je ne me trompe, a parlé pour la première fois de cette expérience, dans un Mémoire lu à l'Académie le 1er janvier 1813, et imprimé en 1814 dans l'ouvrage intitulé : *Recherches expérimentales et mathématiques sur les mouvemens des molécules de lumière autour de leur* CENTRE DE GRAVITÉ. A la page 285 de cet ouvrage, je trouve que les teintes données par deux lames d'égale épaisseur, croisées sous l'angle de 45°, ne devaient, *d'après la théorie*, éprouver aucun changement quand on faisait tourner le système dans son plan. L'expérience montrait des changemens sensibles : M. Biot le reconnaît, mais il les présente comme des anomalies dont la cause ne lui est pas bien connue. En 1816, cette opposition entre la théorie et l'expérience n'existait plus, la théorie avait raison, le mouvement des lames laissait les teintes constantes, les anomalies avaient entièrement disparu (*Voyez* le *Traité de Physique*, tome IV, p. 407); maintenant qu'on a reconnu l'imperfection des formules, les changemens de teinte non-seulement existent (ce qui était nié en 1816), mais ils sont réels et ne tiennent plus aux imperfections de l'expérience, comme on le supposait en 1813. Je me trompe, peut-être; mais il me paraît, même aujourd'hui, que de tels détails *historiques* ne devaient point entrer dans un rapport fait devant l'Académie. N'est-il pas d'ailleurs évident qu'ils sont plutôt contraires que favorables à la théorie de la polarisation mobile, et que s'ils prouvent quelque chose, c'est seulement la grande mobilité d'idées de M. Biot ?

Le Mémoire de M. Fresnel renferme une expérience capitale, d'où me paraît résulter mathématiquement la conséquence que les lames minces agissent sur la lumière comme les cristaux épais, et la partagent constamment en deux faisceaux polarisés à angles droits. Si ce fait est exact, la théorie de la polarisation mobile ne l'est pas; car jamais opposition entre un système et l'expérience n'a été plus manifeste. Dans une réfutation du rapport, qui embrasse près de 34 pages, et où l'on remarque tant de digressions, M. Biot n'aurait-il pas dû montrer, au moins en quelques lignes, comment il concilie le mode de production des couleurs qu'il a indiqué, avec l'existence constante, dans les cristaux de toutes les épaisseurs, de deux faisceaux polarisés perpendiculairement? Toujours est-il certain que nous serons en droit, M. Ampère et moi, de déclarer, même après la publication des *Remarques* de M. Biot, que toutes nos objections subsistent.

M. Biot a joint à ses *Remarques* une longue note destinée à prouver que les formules du *Mémoire* ne représentent pas exactement les couleurs des anneaux colorés ordinaires. Cette note n'étant point relative à notre rapport, je n'ai pas besoin de m'en occuper : M. Fresnel, qu'elle regarde, y répondra. Je pourrai même, à la rigueur, me dispenser tout-à-fait de parler des formules, puisque ce n'était pas là l'objet en discussion; mais il m'est impossible de ne point signaler, comme je l'ai déjà fait devant l'Académie, le singulier moyen que M. Biot emploie pour prouver que ses formules sont identiques avec celles de M. Fresnel.

L'expression que donne M. Biot pour le rayon ordi-

naire, se compose (page 231) d'un premier terme en $\cos^2 \alpha$, et d'un second terme en $\cos^2 (\alpha - 2i)$; les coefficiens O et E, qui multiplient ces cossinus, sont ce que M. Biot appelle *des faits* (p. 235) : on calcule leur valeur pour chaque cas particulier, à l'aide de la Table des anneaux colorés de Newton. La formule de M. Fresnel renferme comme la précédente, quand on la développe, des termes en $\cos^2 \alpha$ et $\cos^2 (\alpha - 2i)$; mais leurs coefficiens sont des expressions analytiques, fonctions de quantités qui déterminent les propriétés optiques des lames et celles des rayons colorés. Que fait maintenant M. Biot ? Il représente ces deux coefficiens par O et par E, c'est-à-dire, par les deux lettres dont il s'était déjà servi, et en tire la conclusion que ses formules et celles de M. Fresnel coïncident! J'accorde volontiers que *le moyen* (je ne dis pas la formule) donné par M. Biot pour déterminer la nature des couleurs des lames, est exact : cela tient uniquement à ce que, dans chaque cas, on va chercher la teinte initiale dans la Table de Newton. Mais pour établir que les deux formules sont identiques, il aurait fallu, ce me semble, les ramener l'une à l'autre par de simples transformations, et retrouver ainsi précisément les mêmes termes : j'expliquerai plus nettement ma pensée en prenant un exemple dans les propres ouvrages de M. Biot.

Si l'on représente par i l'angle que fait l'aiguille aimantée avec l'horizon, et par λ la latitude magnétique, on trouve que ces deux quantités sont liées entre elles par la formule

$$\text{tang}\,(i + \lambda) = \frac{\sin 2\lambda}{\cos 2\lambda - \frac{1}{3}};$$

cette formule est de M. Biot. A l'aide de transformations purement analytiques que, par des raisons que j'ignore, ce célèbre physicien n'a pas voulu faire, un géomètre américain, M. Bowditch, a ramené l'expression précédente à la forme : tang $i = 2$ tang λ. Dans ce cas-ci, on peut dire en toute rigueur que ces deux formules sont identiques, quoique la seconde soit à la fois plus simple et plus élégante que l'autre; mais la discussion à laquelle M. Biot s'est livré sur les formules de polarisation n'est évidemment pas de ce genre, puisque toutes ses transformations se réduisent, en dernier résultat, à substituer les deux lettres *O* et *E* aux coefficiens complexes de la formule de M. Fresnel.

Procédé *pour extraire la quinine des quinquinas.*

Par M. Badollier, Pharmacien à Chartres.

Je fais bouillir une livre de quinquina jaune concassé dans environ trois pintes d'eau alcalisée par la potasse caustique. La liqueur bouillante doit avoir une forte saveur de lessive. Après un quart d'heure d'ébullition, je retire du feu, et je laisse refroidir entièrement; ensuite je passe avec expression à travers une toile serrée : je lave le marc à plusieurs reprises, toujours en exprimant, et je soumets fortement à la presse.

Le quinquina ainsi lessivé, je le fais chauffer légèrement dans suffisante quantité d'eau, en ajoutant peu à peu, et en remuant, de l'acide hydro-chlorique, jusqu'à ce que la couleur du papier tournesol commence à s'al-

térer. Lorsque la liqueur est sur le point de bouillir, je la passe avec forte expression. Aussitôt j'ajoute à la colature, pendant qu'elle est chaude, une once de sulfate de magnésie ; puis je précipite le tout par la potasse caustique un peu en excès. Je recueille le précipité sur un filtre, après l'entier refroidissement de la liqueur ; je le lave et le fais sécher.

Enfin, je traite ce précipité par l'alcool, suivant le procédé de MM. Pelletier et Caventou, pour en obtenir la quinine.

En combinant, immédiatement après l'évaporation de l'alcool, la quinine à l'acide sulfurique, j'obtiens par la cristallisation un sulfate de quinine, qui, lavé avec un peu d'eau distillée, est d'un très-beau blanc.

En général, les quinquinas que j'ai traités par le procédé que je donne, m'ont fourni à-peu-près les mêmes quantités de bases salifiables que celles obtenues par les procédés indiqués dans le *Journal de Pharmacie*.

Une livre de quinquina Carthagène m'a donné 40 gr. de cinchonine, mélangée d'un peu de quinine.

Je ferai observer qu'il ne faut pas attendre que la décoction avec la potasse des quinquinas contenant beaucoup de matière résinoïde, soit entièrement froide pour la passer ; car la liqueur, en refroidissant, se coagule comme le sang ; ce qui arrive au quinquina rouge roulé, et plus particulièrement encore au quinquina Carthagène. La filtration deviendrait alors très-difficile, et même impraticable.

Le quinquina Carthagène, ainsi dépouillé par la potasse de la quantité prodigieuse de matière résinoïde

qu'il contient et séché, ne pourrait-il pas être employé avec plus d'avantage dans certaines préparations pharmaceutiques ?

RECHERCHES *sur les Moyens employés pour la conservation de la marine britannique, depuis les époques les plus reculées jusqu'à ce jour, et particulièrement sur cette espèce de dépérissement connu sous le nom de* pourriture sèche (*Dry-rot*).

Compte verbal rendu à l'Académie des Sciences de l'Institut de France, le 18 juin 1821, par M. Ch. DUPIN.

M. JOHN KNOWLES, secrétaire du comité des Inspecteurs de la Marine britannique, auteur de l'ouvrage dont l'Académie nous a chargés de lui rendre un compte verbal, est un de ces hommes pleins d'obligeance dans le caractère, et de libéralité dans les communications; exempt de préjugés malheureusement trop communs, il sait établir avec les étrangers une honorable communication de lumières, de conseils et d'expérience. C'est un témoignage que nous éprouvons un vrai plaisir à porter du caractère de l'auteur.

M. John Knowles divise son ouvrage en neuf chapitres; le premier, relatif aux propriétés des bois, est un résumé succinct de ce que l'observation a fait connaître sur les qualités des diverses espèces de bois de chêne employées dans les constructions navales.

Le second chapitre contient l'exposition des opinions et des expériences relatives à la saison la plus propre à

la coupe des bois. Ce chapitre présente des faits qu'il importe de relater. Tous les peuples ne coupent pas, à la même époque de l'année, les bois qu'ils emploient à des constructions. Pour effectuer cette opération, les Français préfèrent l'hiver. Les Anglais choisissaient cette saison, jusqu'à l'époque où Jacques I[er] monta sur le trône d'Angleterre. Mais alors, afin d'encourager les tanneries, on défendit de couper les bois dans la morte saison, sous peine de confiscation des arbres, ou de payer une somme double de leur valeur. (En exceptant toutefois les bois nécessaires pour les vaisseaux, les moulins et les maisons du roi.)

Depuis cette époque, le prix de l'écorce propre aux tanneries s'éleva si haut, que l'Administration de la marine fut obligée d'offrir jusqu'à 5, 6 et $7\frac{1}{2}$ pour cent de prime d'encouragement aux particuliers qui couperaient en hiver, et non plus au printemps, le chêne propre aux constructions navales.

Dès le dix-septième siècle, les habitans du comté de Stafford avaient coutume d'écorcer sur pied les chênes, durant le printemps, pour les couper l'hiver suivant.

Dans le siècle dernier, Buffon et Duhamel proposèrent d'écorcer les arbres deux à trois ans avant de les couper; ce qui, selon eux, devait rendre l'aubier aussi dur que le cœur du chêne. Depuis 1770, les Hollandais ont pratiqué cette méthode; et les Anglais l'ont employée dans les forêts royales, depuis la dernière paix.

Un Anglais, M. Biggen, a trouvé que le chêne qui peut fournir 2,1 de tan lorsqu'on coupe le bois en hiver, en fournit 9,6 lorsqu'on le coupe au printemps; et

que l'acide gallique est proportionnel à 8 dans le premier, et à 10 dans le second.

En opposition aux idées communément reçues, l'expérience a prouvé que les bois coupés en hiver sont beaucoup plus pesans que les bois coupés au printemps; mais ils perdent une plus grande partie de leur poids par le desséchement; de manière qu'au bout d'un certain temps, les bois coupés en hiver pèsent très-peu plus que les bois coupés au printemps.

En 1819, les Anglais ont construit une frégate de quarante-six canons, en employant à bas bord, et sur une moitié des ponts, des bois écorcés au printemps de 1814, et coupés avant la sève de 1815; l'autre bord était bâti avec du bois coupé, sans être écorcé, au printemps de 1815. Cette expérience intéressante fera connaître, dans peu d'années, quelle est la pratique la plus avantageuse aux constructions navales.

L'aubier des bois coupés en hiver, après avoir été écorcés, s'est pourri dans l'arsenal de Deptford. Il a paru aussi plus sujet à la végétation des champignons, dans son tissu ligneux, que l'aubier du bois coupé au printemps: ce qui semble contredire les résultats donnés par Buffon et Duhamel.

La conservation des bois lorsqu'ils sont coupés, et leur desséchement convenable, sont de la plus haute importance dans les travaux des arts.

Les bois contiennent une grande quantité d'eau dans leurs pores. Dès l'instant où on les coupe, cette eau s'évapore, rapidement d'abord, mais bientôt après de plus en plus lentement, pendant un temps extrêmement considérable. Ce desséchement ne suit pas une loi régulière.

Il est accéléré par la chaleur et la sécheresse de l'atmosphère, il est rallenti par le froid et l'humidité. Lorsque le bois arrive au degré de desséchement où les variations de son poids, produites par son desséchement insensible, sont moins grandes que les altérations produites (en vertu de sa force hygrométrique) par les intempéries de l'atmosphère, on regarde le bois comme suffisamment desséché, et comme propre aux travaux de l'architecture : il est ce que les Anglais appellent *saisonné*, mot dont nous ferons usage.

M. Knowles examine successivement les moyens employés par les marines de divers peuples pour saisonner les bois, en les tenant dans l'air, dans le sable ou dans l'eau. Il rapporte des expériences intéressantes faites, en 1816, 1817, 1818 et 1819, dans les arsenaux de Deptford et de Woolwich, pour comparer la déperdition de poids des bois, les uns tenus dans l'air, les autres dans l'eau; les uns dans la situation verticale de leur croissance, les autres la tête en bas, et le pied en haut.

Les expériences ont prouvé, contre l'attente générale, que les bois placés dans la situation naturelle de leur croissance se desséchaient plus vite, et dans l'air et dans l'eau, que ne le font les bois renversés.

Nous rapportons ici le tableau de ces expériences :

Expériences *sur des pièces de bois tenues six mois sous l'eau, dans les bassins de mâture des arsenaux de* Deptford *et de* Woolwich; *ainsi que sur quelques pièces tenues à l'abri hors de l'eau; afin de déterminer celles qui perdraient le plus de leur poids, suivant que leur tête ou leur pied serait placé en bas, et pour éprouver si l'immersion est ou non un moyen expéditif de saisonner les bois.*

DEPTFORD.

Indication des bois.	Poids, au moment de l'immersion, 12 avril 1817.		Poids, après 6 mois de séjour sous l'eau.		Poids, au 12 avril 1818.		Poids, au 23 juin 1819.		Poids, au 21 décemb. 1819.	
Dans l'eau.	Pied en bas.	Tête en bas.	Pied en bas.	Tête en bas.	Pied en bas.	Tête en bas.	Pied en bas.	Tête en bas.	Pied en bas.	Tête en bas.
	livres.	liv.	liv.	liv.	liv.	liv.	liv.	liv.	liv.	liv.
Chêne en grume	921 1169 1169	896 1211 1133	1078 1330 1295	1008 1386 1260	924 1170 1176	875 1204 1050	834 1059 1075	805 1097 917	817 1035 1056	789 1077 895
	3259	3140	3703	3654	3270	3129	2968	2819	2908	2761
Bois équarri sur les côtés	819 812 952	809 931 1036	861 889 1050	882 1008 1078	794 791 924	784 945 1001	716 706 819	700 844 882	693 686 794	679 819 812
	2583	2776	2790	3017	2509	2730	2241	2426	2173	2352
Hors de l'eau, à l'abri, chêne en grume	798 1106 959	924 1155 784	....	....	770 1043 904	896 1099 738	690 976 842	829 1039 697	682 963 834	821 1023 687
	2863	2863	....	....	2717	2733	2508	2558	2479	2531
Chêne équarri sur les côtés	896 826 980	854 840 1022	....	....	829 770 889	784 770 938	755 718 819	722 712 858	743 707 802	711 700 842
	2702	2716	....	....	2478	2492	2292	2292	2252	2253

Il résulte de ces expériences, 1° que le bois est mieux saisonné quand on le tient trente mois en plein air, mais à l'abri du soleil et de la pluie; 2° que le bois perd plus de son poids pendant six mois d'immersion et de desséchement alternatifs, qu'en restant pendant tout ce temps sous l'eau; 3° que la déperdition d'humidité est, dans tous les cas, plus grande pendant un temps donné, lorsque les têtes sont placées en bas, ainsi que nous l'avons déjà dit.

Les Anglais pensent qu'il convient de n'employer des bois de construction que trois ans après leur coupe. C'est pour cette raison qu'ils calculent l'approvisionnement de leur marine sur trois années d'avance.

Chapitre IV. *Emploi des moyens chimiques pour augmenter la durée des bois.* La marine anglaise a fait une foule d'expériences de toutes espèces pour essayer d'augmenter cette durée; mais malheureusement la plupart n'ont fait qu'altérer la contexture végétale; et, par là, hâter plutôt que rallentir le dépérissement des bois. M. Knowles présente un historique raisonné des principales tentatives qu'on a faites, et de leurs fâcheux résultats. Il ne faut pas regarder de telles relations comme des récits inutiles. Il importe beaucoup de connaître quels moyens spécieux, séduisans même par les chances de succès qu'ils semblent offrir, ne peuvent cependant conduire qu'à d'inutiles essais; car ces moyens ne manqueront pas d'être reproduits par les faiseurs de projets. Ceux-ci, sans commencer par s'enquérir si des moyens du même genre n'ont pas été tentés, ne songent qu'à poursuivre leur idée pour la faire adopter. On conçoit alors combien il importe au Gouvernement et à

l'industrie particulière, qu'on puisse trouver dans un recueil la réunion des moyens qu'il serait dangereux ou du moins superflu, et toujours dispendieux d'essayer de nouveau.

Les ouvriers constructeurs de vaisseaux de la Grande-Bretagne ont toujours vu d'un mauvais œil ces tentatives dont l'objet était d'augmenter la durée des navires; parce qu'ils observaient avec sagacité que plus les vaisseaux dureraient, moins il faudrait en faire de neufs chaque année, pour en tenir un nombre donné en état de servir.

C'est ainsi qu'un M. Jackson ayant, il y a cinquante ans, obtenu d'essayer un moyen de conservation des bois, fondé sur leur imprégnation avec du sel marin, les ouvriers s'élevèrent avec fureur contre cette méthode; ils affirmèrent que s'ils travaillaient à des pièces de bois préparées avec les nouveaux moyens du chimiste Jackson, ils s'exposeraient au danger d'être empoisonnés. Cette opposition fut si forte, qu'elle fit suspendre les épreuves. Il fallut que M. Jackson expliquât son procédé devant le collége des médecins, et qu'il en obtînt un certificat constatant que les ingrédiens dont il se servait ne pouvaient pas nuire à la santé des ouvriers. Quant au moyen en lui-même, il avait l'inconvénient majeur, à cause de la déliquescence des matières employées, d'attirer dans les navires une humidité nuisible en même temps à la conservation des parties métalliques employées dans la construction, et à la santé des gens de l'équipage.

M. Knowles rapporte une observation fréquemment faite en Angleterre, c'est que les navires employés à transporter de la chaux vive ont une très-grande durée.

On conçoit, en effet, que cette substance, par sa puissante affinité pour l'eau, doit préserver la charpente du navire de ces alternatives de sécheresse et d'humidité, qui sont la principale cause du peu de durée des bois. On a tenté de tirer parti de cette observation. On a fait séjourner quelque temps dans un puits rempli de chaux, les bois qu'on voulait éprouver ; mais ces bois, altérés par l'action trop forte de la chaux, n'ont pas même conservé la durée des bois ordinaires.

Un moyen de conservation dont j'ai vu faire usage dans les arsenaux de la Marine anglaise, c'est d'imprégner les bois avec de l'huile, pour les rendre moins hygrométriques. C'est aussi ce que font ces substances oléagineuses dans la partie des bois qu'elles pénètrent ; malheureusement elles ne peuvent pas pénétrer bien avant. On a pensé qu'en élevant beaucoup la température d'un lieu clos où l'on mettrait les bois et de l'huile, les gaz qui se formeraient par la vaporisation, pénétrant dans les pores du bois, y remplaceraient l'eau que contiennent habituellement ces pores.

D'après des idées analogues, on fit, en 1812, dans l'arsenal de Woolwich, une très-grande expérience. On bâtit en brique une étuve voûtée, solide et spacieuse, ayant 10 mètres de long sur 4 de large et sur 10 de haut. On la pava en pierres de taille. En dehors de l'étuve furent établies deux cornues, avec des conduits et des robinets pour distiller des matières oléagineuses et résineuses, dont les gaz devaient pénétrer les bois tenus dans l'étuve, après que ces bois auraient été chauffés suffisamment pour dégager de leurs pores l'humidité qui pouvait s'y trouver. Du fourneau partaient des tuyaux

de chaleur destinés à élever l'étuve à la température qui serait jugée convenable. Les bois, avant d'être soumis à cette opération, étaient séchés dans un four particulier. Pour éviter les accidens qui pourraient être produits par l'accumulation des gaz, un tuyau de sûreté traversait la voûte de l'étuve. Des gazomètres, des thermomètres et des hygromètres étaient placés de manière à montrer au-dehors quels étaient, dans le bâtiment, la force des gaz, le degré de la chaleur, et l'état de la vapeur aqueuse. Enfin, des tuyaux de dégagement servaient à l'écoulement des gaz superflus.

On mettait dans les cornues diverses substances oléagineuses et résineuses, telles que du charbon minéral et de la sciure de bois de pin. Une première expérience où le thermomètre de Farenheit s'élevait jusqu'à 212°, détériora considérablement les bois. Dans une seconde, où le thermomètre ne monta qu'à 150°, l'extérieur des bois ne parut pas détérioré.

Dans une expérience subséquente, une explosion produite par l'inflammation des gaz dégagés, détruisit tout l'édifice. La commotion fut terrible; une porte de fer qui pesait plus de 120 kilogr. fut lancée à 70 mètres de distance. Une partie du mur d'enceinte de l'arsenal fut abattue par cette commotion, ainsi que des maisons bâties en dehors de l'enceinte; six ouvriers furent tués, et quatorze blessés, dont deux moururent.

Quand même cet accident ne serait pas arrivé, il aurait fallu abandonner une méthode qui détruisait toute la force des bois, sans produire aucun des bons effets qu'on s'était flatté d'obtenir.

Le même M. Lukin, auteur du moyen que nous venons

de décrire, proposa d'imprégner les bois avec une dissolution contenant de l'arsenic, afin de tuer les vers qui voudraient détruire ces bois. Lorsqu'on travailla des pièces de charpente imprégnées de cette substance dangereuse, des échardes étant entrées dans la peau de deux ouvriers, ils furent empoisonnés comme par la piqûre d'un animal vénéneux, et ils moururent.

Chapitre V. *De la construction des vaisseaux considérée dans ses rapports avec la durée des bois.* Dans les différens écrits que j'ai rédigés sur la marine anglaise, j'ai traité ce sujet avec beaucoup de détails, et je ne ferais que me répéter, en donnant une analyse de ce chapitre (1).

M. Knowles insiste avec raison sur les avantages du nouveau système de charpente adopté maintenant par les Anglais. Ce système, dont j'ai démontré les avantages dans un Mémoire inséré dans les *Transactions philosophiques* de la Société royale de Londres, et plus tard dans les *Annales maritimes*, donne une plus grande solidité à tout le système; par conséquent, toutes choses égales d'ailleurs, chaque pièce ayant moins de flexions et de chocs de toute espèce à supporter, doit durer plus long-temps. Ce système a beaucoup d'autres avantages. Nous avons commencé d'en faire l'application sur une frégate. Cette expérience, pour laquelle on m'a fait l'honneur de me demander une exposition des moyens

(1) Voyez *Voyages dans la Grande-Bretagne*, 2e partie, *Force navale de la Grande-Bretagne*; 2 vol. in-4°, avec planches, grand atlas; publiée récemment. *Bachelier*, quai des Augustins. Paris.

d'exécution, paraît avoir réussi complètement. Les frégates ordinaires, quand on les met à la mer, se déforment de manière que leur quille cesse d'être droite ; elle forme un arc dont la flèche est d'autant plus grande que la charpente est moins solidement assemblée : or, la flèche de cet arc a été trouvée, pour la nouvelle frégate, six fois moins considérable que pour les bâtimens ordinaires de même rang. L'avantage sera plus grand encore pour les vaisseaux que pour les frégates ; et je ne cesserai d'en solliciter la complète extension que quand je l'aurai obtenue.

Les moyens d'aérer un bâtiment, et d'y maintenir la propreté, la sécheresse et l'égalité de température, si avantageux à la santé de l'équipage, sont également avantageux à la conservation du navire. J'ai fait connaître ce que ces moyens ont de plus remarquable dans les *Mémoires sur l'état sanitaire de la flotte britannique*, que j'ai eu l'honneur de lire à l'Académie des Sciences dans l'automne dernier ; j'ai consigné ces moyens dans la *Force navale de la Grande-Bretagne.*

Pour assurer la conservation des bois dans la charpente des vaisseaux, les Anglais poussent la précaution jusqu'à peindre les surfaces des pièces qu'ils doivent mettre en contact. Ils emploient, à cet effet, un mélange de couleurs minérales, d'huile et de goudron. Par ce moyen, ils préviennent l'échauffement des bois en contact, échauffement qui, favorisé par l'humidité, conduit si vite à la décomposition.

Quand la membrure des vaisseaux est complètement assemblée, les Anglais percent des trous dans les joints ; ensuite, avec des pompes foulantes, ils injectent du gou-

dron dans ces ouvertures. Ils en font entrer de la sorte des quantités considérables qui se logent dans une foule d'interstices, où l'eau ne peut plus s'infiltrer.

Chapitre VI. *Des précautions employées pendant la construction des vaisseaux pour les préserver de l'injure de l'atmosphère.* Depuis peu d'années, les Anglais ont commencé de construire des hangars sur leurs formes et sur leurs calles de construction. Je donne la description et le plan de ces hangars dans la partie de mes *Voyages* qui comprend la *force navale de la Grande-Bretagne.*

Une observation de M. Knowles qui, sans être nouvelle, n'en est pas moins importante, et à laquelle on n'a point assez d'égards dans nos ports; c'est, après avoir donné le dernier poli, ou, comme on dit, *paré* la membrure de nos vaisseaux, d'attendre quelque temps pour y appliquer le bordage; car, sans cela, la surface qu'on vient de parer, fraîche encore et pleine d'humidité, est beaucoup plus sujette à entrer en fermentation par son contact avec la surface du bordage, qui est de même récemment travaillée, et toute humide.

Le chapitre VII traite des moyens employés par les Anglais pour conserver les vaisseaux après qu'ils sont construits. Dès mon premier voyage en Angleterre, j'avais été frappé de ces moyens, et je me suis empressé de les faire connaître à l'Inspection générale du Génie maritime, avec tout le développement qui convient à leur importance; ils sont exposés dans la *Force navale de la Grande-Bretagne.*

L'histoire de la Marine britannique nous présente un grand exemple de l'influence que peuvent avoir quel-

ques soins conservateurs appliqués aux vaisseaux mis à la mer, ou tenus dans le port.

Sous le règne de Charles II, la direction des affaires ayant été retirée au duc d'Yorck et à M. Pepys, deux hommes d'un rare talent pour la marine, en cinq ans de négligence, et sans accidens étrangers, une marine qui comptait une flotte de soixante-seize vaisseaux de ligne et trente vaisseaux en construction, se trouva réduite à vingt-deux vaisseaux du quatrième rang; des vaisseaux en construction la plupart étaient sur leurs chantiers dans un état de dépérissement; les magasins étaient vides, et pourtant la dépense n'avait en rien diminué pendant ces cinq années de désastre. C'est ainsi que, dans la marine, en laissant le temps produire ses effets destructeurs, il peut anéantir, dans un bien petit nombre d'années, les forces navales les plus imposantes : de tels faits sont bien propres à nous montrer l'importance des soins qu'on peut apporter à la conservation des vaisseaux.

Chapitre VIII. *De la pourriture sèche, et des moyens employés pour y remédier ou pour la prévenir.* La pourriture sèche que les Anglais appellent *dry-rot*, est une des maladies des bois les plus fatales pour la marine. M. Knowles observe d'abord que cette maladie est connue depuis un grand nombre de siècles; il reconnaît le *dry-rot* dans la plaie appelée *lèpre des maisons*, dans le 14e chapitre du *Lévitique*. En peu d'années, un bâtiment attaqué de la pourriture sèche devient tout-à-fait hors de service. Ainsi, par exemple, en 1798, on mit à la mer *le Foudroyant*, vaisseau de 80 canons. Dès 1802, il fallut le radouber et le refondre presque en entier.

La décomposition des bois, connue sous le nom de *dry-rot*, présente un phénomène remarquable : c'est la croissance de champignons dont les racines, en pénétrant les fibres du bois dont elles pompent la substance, contribuent puissamment à détruire toute adhérence ligneuse.

Les champignons qui croissent à bord des vaisseaux se trouvent ordinairement entre les bordages et la membrure, dans des parties humides, en contact avec un air renfermé. De ces champignons, l'un désigné sous le nom de *xylostroma giganteum*, ne se propage guère au-delà de la partie pourrie du bois qui l'a produit ; mais l'espèce désignée sous le nom de *boletus lacrymans*, se propage avec une extrême rapidité, et détruit la contexture des bois dans lesquels il prend racine.

On a pris les bois les moins destructibles, tels que le bois de teck et le gaïac ; on les a mis en contact avec des bois ordinaires où ces champignons croissaient déjà, et la contagion s'est rapidement étendue à ces bois, si renommés pour leur durée.

Dans les navires où se développe avec quelque étendue la végétation des champignons, on remarque une odeur ammoniacale.

M. Knowles présente un exemple bien remarquable des ravages du dry-rot. C'est celui du vaisseau à trois ponts *la Reine-Charlotte*, qui fut mis à la mer en 1810, et qui dès le printemps de 1811, avait tellement souffert du dry-rot, que toutes les parties au-dessus de la flotaison se trouvaient dans un état de rapide dépérissement : elles avaient la plupart besoin d'être refaites à neuf.

M. Sowerby, naturaliste, ayant étudié les champi-

gnons qui étaient en pleine végétation à bord de *la Reine-Charlotte*, en donna la description scientifique : M. Knowles la rapporte.

On procéda sans retard au radoub du vaisseau, en enlevant tous les bois entièrement hors de service, et retranchant des autres pièces les parties endommagées qu'on tranchait jusqu'au vif du bon bois ; ensuite on remplaça les parties enlevées par du bois très-sain. Depuis neuf ans qu'eut lieu cette opération, la végétation des champignons et la pourriture sèche ont complètement disparu de ce bâtiment.

On a pensé que la chaleur était un des stimulans de la végétation dont les effets sont connus sous le nom de *dry-rot*. On l'a démontré par des expériences ; la chaleur la plus favorable est comprise entre 45 et 90 degrés de Farenheit. Au-dessous de 45°, la végétation languit ; elle cesse au-dessus de 90° ; alors le champignon se flétrit et périt. C'est pourquoi, dans les soins pris pour détruire tout germe de *dry-rot* dans le vaisseau *la Reine-Charlotte*, on a, par des étuves, élevé la température de la cale jusqu'à 120 degrés de Farenheit : c'est pendant l'hiver qu'on faisait cette opération.

Mais la chaleur qui semblait produire d'aussi bons effets dans la cale, en produisait de fort mauvais dans les entre-ponts ; car l'air échauffé de la cale, tenant en suspension une grande quantité d'humidité, s'élevait, par sa légèreté spécifique, le long de la muraille des vaisseaux. Lorsqu'il avait passé à travers les ouvertures pratiquées entre cette muraille et le faux pont, il était tout-à-coup refroidi par une partie de charpente dont les étuves n'avaient pas élevé la température, et cessant

de pouvoir tenir en dissolution toute l'eau dont il était chargé, il la déposait sur le bois dont il élevait sensiblement la température. Cette tiède humidité favorisait la végétation des champignons et faisait naître le dry-rot au-dessus du faux pont. Cela fit renoncer à l'emploi des étuves pour augmenter beaucoup la chaleur des cales de vaisseaux.

Sans bannir entièrement l'usage des étuves à bord des bâtimens, il faut les employer, non plus pour rendre la température de la cale de beaucoup supérieure à la température extérieure; mais pour dissiper l'humidité intérieure, en plaçant en même temps des foyers de chaleur dans les entre-ponts.

Les Anglais ont remarqué que, dans les bâtimens employés à rapporter des deux Indes du poivre ou du coton, la charpente dépérit très-rapidement par l'effet de la grande chaleur que ces substances végétales développent lorsqu'elles sont accumulées en grande masse dans les navires. Mais ce dépérissement, qui provient d'un extrême desséchement des bois, n'engendre aucune végétation de champignons pareille à celle du dry-rot.

M. Knowles parle ensuite des essais tentés pour conserver la charpente des vaisseaux, en remplissant de sel marin les interstices ou mailles de la membrure de ces bâtimens. Cette méthode a le très-grand inconvénient, à cause de la déliquescence du sel marin ordinaire, d'entretenir dans l'intérieur du navire une humidité très-contraire à la santé des hommes, à la conservation des parties métalliques et d'une foule d'objets d'armement ou d'approvisionnement.

Depuis très-long-temps on a rempli d'eau la cale des

bâtimens pour essayer de les conserver : c'est encore un moyen sujet à de grands inconvéniens qui l'ont fait abandonner.

Il paraît que le goudron minéral préféré, depuis quelque temps par les Anglais, au goudron végétal, est un des meilleurs préservateurs de la germination des champignons dans la charpente des vaisseaux.

Le 9e et dernier chapitre de l'ouvrage est un recueil d'observations sur la durée des diverses espèces de bois employés dans la construction des vaisseaux de la marine britannique.

Au milieu du 17me siècle, la durée moyenne des vaisseaux anglais était évaluée à trente ans. Il y a trente ans, cette durée moyenne était évaluée à quatorze ans, et, dans la dernière guerre, on ne pouvait plus l'évaluer qu'à huit ans.

Les navires marchands de l'Angleterre semblent être également aujourd'hui moins durables qu'autrefois.

Les causes de cette effrayante diminution tiennent en grande partie à ce que, depuis le 17e siècle jusqu'à nos jours, le service des vaisseaux est devenu beaucoup plus actif et beaucoup plus constant. Il y a cent cinquante ans, les vaisseaux ne tenaient presque jamais la mer pendant la mauvaise saison. A l'abri des tempêtes si fréquentes et si redoutables pendant ce temps de l'année, ils passaient l'hiver au fond des ports. Ces bâtimens étaient peu nombreux ; on pouvait par conséquent être plus sévère dans le choix des bois propres à leur construction, et n'employer ces bois qu'après leur complet desséchement. Dans la dernière guerre, les vaisseaux anglais restaient toute l'année à la mer. Ils faisaient des croisières dans les mers

les plus dures, et ne revenaient en Angleterre que quand ils étaient presque en danger de couler à force de dépérissement. Il y avait des navires de transport qui les ravitaillaient de temps à autre, afin qu'ils ne perdissent pas même le temps d'aller faire de l'eau ou chercher des vivres.

Le commerce, en prenant une plus grande activité, a rendu de même le service des navires qu'il emploie et plus actif et plus pénible.

Je n'entrerai pas ici dans le détail purement local des diverses espèces de bois que l'Angleterre va chercher à l'étranger pour approvisionner ses arsenaux.

J'ai tâché de faire connaître, dans cette analyse, les résultats les plus remarquables consignés dans l'ouvrage de M. Knowles : leur ensemble, en montrant l'utilité de ce livre, est le meilleur éloge qu'il soit possible de faire d'une production remarquable par l'ordre et l'abondance des matières dont il traite.

Nouvelles Recherches *sur la Composition des eaux de l'allantoïde et de l'amnios de la vache.*

Par Mr J.-L. Lassaigne.

Le fœtus, dans la matrice, est enveloppé dans plusieurs membranes successives, auxquelles les anatomistes ont donné différens noms. La première, la plus extérieure, est appelée *chorion;* au-dessous de celle-ci s'en trouve une autre, très-apparente surtout dans les quadrupèdes, qui a reçu le nom d'*allantoïde;* enfin, la troi-

sième, la plus interne qui environne le fœtus, est l'*amnios*.

Ces deux dernières renferment des liqueurs différentes dont la quantité et la nature varient, suivant l'époque de la gestation et l'espèce de l'animal.

La liqueur amniotique de la femme avait déjà été analysée par MM. Vauquelin et Buniva comparativement avec celle de la vache; mais, dans celle-ci, ils ont trouvé un acide cristallisable jouissant de propriétés particulières, qu'ils ont appelé *acide amniotique*, du nom de la liqueur d'où ils l'ont extrait. Comme, dans leur travail, ils ne font pas mention de la liqueur de l'allantoïde, qui souvent est en plus grande quantité que celle de l'amnios, il est vraisemblable qu'ils l'auront confondue avec cette dernière ou qu'ils auront examiné leur mélange.

M. Girard, directeur de l'Ecole royale vétérinaire d'Alfort, dans ses recherches anatomiques sur le fœtus de vache, s'étant procuré séparément les eaux de l'allantoïde et de l'amnios, me les remit pour les soumettre à une nouvelle analyse chimique.

Les résultats que j'ai obtenus prouvent non-seulement la différence de composition de ces deux eaux, mais encore que l'acide appelé jusqu'à présent *amniotique* n'existe pas dans la liqueur contenue dans l'amnios. J'ai cru qu'il serait utile de publier mes expériences, qui, répétées trois fois à différentes époques, pourront inspirer quelque confiance aux naturalistes.

Eau de l'allantoïde de la vache.

Cette liqueur est transparente, d'une couleur jaune fauve, d'une saveur légèrement amère et salée; sa pe-

santeur spécifique est de 1,0072 à 15°; elle rougit le papier de tournesol.

Soumise à l'évaporation dans une capsule de porcelaine, elle a formé une pellicule brûnâtre qui s'est précipitée ensuite en flocons, auxquels on a reconnu les caractères suivans : l'eau et l'alcool ne les dissolvaient point, les acides minéraux affaiblis n'avaient aucune action sur eux; les alcalis en opéraient facilement la dissolution; projetés sur les charbons ardens, ils noircissaient et se boursoufflaient en répandant une odeur de corne brûlée; incinérés, ils ont fourni un résidu grisâtre composé de phosphate de chaux et de magnésie. Toutes ces propriétés démontrent que la matière animale qui s'est coagulée pendant l'évaporation était de l'albumine.

Le liquide a été ensuite évaporé jusqu'au dixième; abandonné en cet état dans un lieu frais pendant douze heures, il n'a point déposé de cristaux.

On a alors traité l'extrait par l'alcool bouillant, qui l'a séparé en deux parties; l'une, brunâtre, visqueuse, ne s'est pas dissoute; l'autre, jaune-brunâtre, s'est dissoute dans ce véhicule.

La solution alcoolique, évaporée, a laissé une matière jaune-brunâtre acide, d'une saveur et d'une odeur de jus de viande; abandonnée à elle-même, il s'y est formé, au bout de vingt-quatre heures, des cristaux confus, blancs nacrés, qu'on a facilement séparés de la matière colorée en les lavant avec de l'eau froide : ces cristaux m'ont présenté les propriétés suivantes; ils étaient insipides, très-peu solubles dans l'eau à la température ordinaire; l'eau bouillante les dissolvait facilement. La solu-

tion rougissait la teinture de tournesol; en refroidissant, elle les a laissé précipiter sous forme d'aiguilles divergentes d'un blanc nacré; les eaux de chaux et de baryte versées dans cette solution n'y ont occasioné aucun précipité, ainsi que le nitrate d'argent et l'acétate de plomb; projetés sur une plaque de fer rouge, ils ont noirci, se sont boursoufflés en répandant une fumée blanche d'une odeur piquante ammoniacale; traités par une solution de potasse caustique, ils se sont parfaitement dissous; en saturant par un acide l'alcali, ils se sont précipités sans altération; enfin, cette matière blanche cristallisée m'a présenté tous les caractères de l'acide particulier que MM. Vauquelin et Buniva ont annoncé avoir retiré de l'eau de l'amnios de la vache.

L'extrait alcoolique d'où l'on avait séparé cet acide cristallisable rougissait encore le papier de tournesol; il avait une couleur jaune-brunâtre très-foncée, une odeur et une saveur semblables à du jus de viande rôtie: il devait en effet ces propriétés à une assez grande quantité d'osmazôme mêlé à de l'acide lactique, que j'en ai retiré par le procédé de M. Berzelius. Une partie de cet extrait, calciné dans un creuset de platine, a donné une cendre grise-blanchâtre qui s'est dissoute en partie dans l'eau; ce liquide, évaporé, a fourni du chlorure de sodium, mélangé d'un peu de sous-carbonate de soude.

La portion de cette cendre insoluble dans l'eau était composée de phosphate de chaux.

En triturant avec de la potasse une petite quantité de cet extrait, j'ai eu un dégagement très-sensible d'ammoniaque, et afin de me convaincre si cet alcali n'existait pas à l'état de sel ammoniac (hydro-chlorate d'ammo-

niaque), j'en ai distillé dans une petite cornue de verre, et dans les produits formés j'ai reconnu la présence de l'acide hydro-chlorique; ce qui vérifia mon assertion.

La partie de l'extrait de l'eau de l'allantoïde insoluble dans l'alcool a été redissoute dans l'eau, et la dissolution concentrée a été abandonnée dans un endroit frais : elle n'a point fourni de cristaux, même au bout de quelques jours; on l'a soumise aux réactifs suivans : l'acide hydro-chlorique versé dans une portion de cette liqueur n'y a point formé de précipité; le nitrate de baryte y a produit un précipité blanc, pulvérulent, abondant, insoluble dans l'acide nitrique; l'eau de chaux y a occasioné un précipité floconneux; enfin, l'infusion de noix de galle, l'acétate de plomb y ont produit des précipités abondans colorés.

Une partie de cet extrait aqueux, incinérée dans un creuset de platine, a donné un résidu salin d'où l'on a retiré par lixiviation beaucoup de sulfate de soude et un peu de phosphate de la même base; la portion de cette cendre insoluble dans l'eau était formée de phosphate de magnésie et de chaux.

Il résulte de ces expériences que l'eau de l'allantoïde de la vache contient :

1°. De l'albumine;

2°. De l'osmazôme en assez grande quantité;

3°. Une matière mucilagineuse azotée;

4°. Un acide cristallisable jouissant de toutes les propriétés de l'acide amniotique désigné par MM. Vauquelin et Buniva;

5°. De l'acide lactique et du lactate de soude;

6°. De l'hydro-chlorate d'ammoniaque;

7°. Du chlorure de sodium;
8°. Du sulfate de soude en grande quantité;
9°. Du phosphate de soude;
10°. Du phosphate de chaux et de magnésie.

Eau de l'amnios de la vache.

Cette liqueur, jaunâtre, visqueuse, d'une saveur salée, présente des caractères sensibles d'alcalinité au papier de tournesol rougi par un acide; examinée par la même méthode que la liqueur précédente, elle a donné :

1°. De l'albumine;
2°. Du mucus;
3°. Une matière jaune analogue à celle de la bile;
4°. Du chlorure de sodium;
5°. Du chlorure de potassium;
6°. Du sous-carbonate de soude;
7°. Du phosphate de chaux.

Ces résultats, obtenus plusieurs fois sur les eaux de fœtus de vache de cinq, six et huit mois, permettent d'en tirer les conclusions suivantes :

1°. Que l'acide appelé *amniotique* n'existe pas dans l'eau de l'amnios, mais bien dans celle de l'allantoïde;

2°. Qu'il est probable que MM. Vauquelin et Buniva ont opéré sur l'eau de l'allantoïde qui leur aura été remise comme étant celle de l'amnios, ou encore que leur travail aura été fait sur le mélange de ces deux eaux.

3°. C'est pourquoi je pense qu'en le distinguant des autres acides connus, par le nom d'*acide allantoïque*, je répondrai au dessein des auteurs de sa découverte.

Ayant eu à ma disposition une certaine quantité de cet acide provenant des analyses précédentes, j'ai profité de cette occasion pour examiner quelques-unes de ses combinaisons, déterminer le rapport de ses principes constituans, et ajouter ainsi aux propriétés qui lui ont été reconnues par MM. Vauquelin et Buniva. (*Annales de Chimie*, tome XXXIII, page 275, an 8.)

Propriétés de l'acide allantoïque.

1°. Cet acide cristallise en prismes carrés, d'un blanc nacré; il est insipide et inaltérable à l'air.

2°. Chauffé dans une petite cornue, il ne se fond pas, noircit, se décompose en fournissant beaucoup de sous-carbonate d'ammoniaque, de l'hydro-cyanate de la même base, de l'huile et un charbon très-léger qui brûle sans laisser de résidu.

3°. L'eau à la température ordinaire en dissout $\frac{1}{400}$ de son poids; l'eau bouillante en dissout $\frac{1}{30}$; la solution rougit la teinture de tournesol; par son refroidissement, elle laisse précipiter presqu'en totalité cet acide sous forme de belles aiguilles prismatiques et divergentes.

4°. L'alcool bouillant le dissout; mais ce liquide, en refroidissant, en laisse cristalliser une portion.

5°. La solution aqueuse de cet acide ne précipite ni la chaux, ni la baryte, ni la strontiane, ainsi que les solutions de nitrate d'argent, de mercure, d'acétate et de sous-acétate de plomb.

6°. Traité par l'acide nitrique bouillant, il est converti en une matière jaune gommeuse et acide qui n'est nullement amère.

7°. Calciné dans un appareil convenable avec le deutoxide de cuivre, il a donné, pour le rapport en poids de ses élémens :

Oxigène,	32, » ;
Carbone,	28,15 ;
Azote,	25,24 ;
Hydrogène,	14,50.
	99,89.

Les combinaisons de cet acide avec les oxides que j'appellerai *allantates* sont toutes solubles et cristallisables; les seules que j'ai examinées particulièrement sont les allantates de potasse, de baryte et de plomb.

L'allantate de potasse obtenu directement cristallise en belles aiguilles soyeuses; il est soluble dans quinze parties d'eau environ; sa solution est décomposée par tous les acides minéraux qui en précipitent l'acide allantoïque en poussière fine.

L'allantate de baryte cristallise en aiguilles prismatiques blanches; il a une saveur âcre comme tous les sels solubles de baryte; il est plus soluble que celui de potasse; décomposé par l'acide sulfurique, il a donné 0,20 de sulfate de baryte pour 100 de sel; d'où il suit qu'il est formé de :

Acide,	86,8	100 ;
Protoxide de barium,	13,2	15,2.
	100,0.	

L'allantate de plomb est soluble et cristallisable; il a une saveur douceâtre et styptique. Décomposé par l'acide sulfurique, il a fourni par sa décomposition :

Acide,	80,65	100;
Protoxide de plomb,	19,35	24.
	100,00.	

A la suite de ce travail sur les eaux de l'allantoïde et de l'amnios de la vache, j'aurais desiré y joindre l'analyse comparative des mêmes eaux obtenues d'animaux d'ordre différent; mais je regrette de ne pouvoir présenter ici que les résultats obtenus sur les eaux de l'utérus de la jument.

Eau de l'allantoïde de la jument.

1°. Albumine;
2°. Osmazôme;
3°. Matière mucilagineuse;
4°. Acide lactique;
5°. Chlorure de sodium;
6°. Chlorure de potassium;
7°. Sulfate de potasse en grande quantité;
8°. Phosphate de chaux et de magnésie.

Eau de l'amnios de la jument.

1°. Mucus.
2°. Albumine en petite quantité;
3°. Osmazôme;
4°. Matière jaune;
5°. Chlorure de sodium;
6°. Chlorure de potassium;
7°. Sous-carbonate de soude;
8°. Phosphate de chaux.

Ces deux liqueurs sont différentes, comme on le voit, de celles de la vache; en effet, l'eau de l'allantoïde de la jument ne renferme point d'acide cristallisable, et au lieu de sulfate de soude que contient celle de la vache, c'est du sulfate de potasse. La présence de l'osmazôme dans l'eau de l'amnios de la jument n'est pas moins remarquable.

Ayant soumis à l'analyse la bile, l'urine et le méconium du fœtus de la vache, j'ai pensé qu'il ne serait pas déplacé d'en consigner les résultats à la suite de ce Mémoire, d'autant plus qu'ils pourront fixer l'attention des physiologistes qui ont émis leur opinion sur les usages des membranes qui entourent le fœtus.

Bile du fœtus de vache.

1°. Matière verte résineuse;
2°. Matière jaune;
3°. Mucus;
4°. Sels { Chlorure de sodium; Sous-carbonate de soude; Phosphate de chaux.

Urine du fœtus de vache.

1°. Mucus en grande quantité;
2°. Matière animale incristallisable;
3°. Chlorure de sodium;
4°. Chlorure de potassium;
5°. Sulfate de potasse;
6°. Acide lactique.

Méconium du fœtus de vache.

1°. Mucus;
2°. Matière verte;
4°. Matière jaune;
4°. Sels { Chlorure de sodium; Sous-carbonate de soude; Phosphate de chaux.

L'on voit, par ces résultats, que la composition de la bile et de l'urine du fœtus de la vache est différente de celle des mêmes liqueurs provenant de l'animal adulte:

en effet, la première ne contient pas de picromel, et la seconde ne renferme pas d'urée ; d'un autre côté, la liqueur contenue dans la vessie du fœtus n'a aucune analogie avec celle de la membrane allantoïque, bien que plusieurs physiologistes aient avancé que cette membrane était un vaste réservoir destiné à renfermer l'urine du fœtus.

Notice *sur un Phénomène électrique remarquable, adressée au Prof.* Pictet *par M.* Allamand *fils, Docteur-Médecin à Fleurier, canton de Neufchatel* (1).

Appelé, le 3 mai dernier, à me rendre à Motiers, vers dix heures du soir, je fus surpris, pour ainsi dire, à la sortie du village, par un orage qui ne tarda pas à être suivi d'une pluie très-abondante. Muni d'un parapluie à canne, je crus prudent de le fermer à mesure que le tonnerre grondait plus souvent et plus fortement, et même j'en tenais dans ma main l'extrémité supérieure, qui forme, comme chacun sait, une pointe métallique, ob-

(1) Nous avons publié, tome x des *Annales*, pag. 284-285, la description de deux phénomènes parfaitement semblables à celui dont le Dr Allamand a été témoin : on verra seulement, page 285, que, suivant les observateurs américains, les petites flammes électriques produisaient un léger sifflement analogue à celui que l'eau fait entendre dans des vases métalliques, un instant avant d'entrer en ébullition.

(R.)

tuse, il est vrai, mais qui pouvait peut-être attirer la foudre. Bientôt la nuit, déjà excessivement sombre, le devint plus encore par des torrens de pluie ; et ce n'était qu'à la faveur des éclairs vifs et fréquens qu'il était possible de suivre ma route. Cheminant ainsi au travers de l'orage le plus violent qu'il soit possible d'imaginer dans nos contrées, j'aperçus tout-à-coup une lumière qui me parut venir d'en haut ; et levant de suite les yeux, je remarquai que c'était le bord de mon chapeau qui était lumineux. Croyant que c'était du feu réel, et sans que j'eusse eu le temps de faire aucune réflexion, je passe subitement la main tout le long de cette traînée lumineuse, dans le but d'éteindre ce que ma surprise me faisait envisager comme une véritable flamme. Mais, à mon grand étonnement, elle reparut plus vive encore ; ce qui me fit naître sur-le-champ l'idée confuse que je m'étais trompé sur la cause de cette lumière. Ma main s'était remplie de l'eau qui découlait de mon chapeau ; en faisant un mouvement pour m'en débarrasser, je vis tout l'intérieur de ma main briller comme un métal poli lorsqu'il réfléchit une vive lumière.

Alors, aux sensations vives et confuses que j'avais éprouvées jusque là succéda une émotion profonde qui me fit prononcer à demi-voix une exclamation de terreur. J'étais à une centaine de pas de la ferme de Chaux, c'est-à-dire, à dix ou douze minutes de Fleurier, et à quinze ou vingt de Motiers. Je délibérai un moment pour savoir si j'entrerais dans cette maison de ferme, ou si je continuerais ma route ; et enfin quelques raisonnemens de physique, et la plus parfaite confiance en l'Auteur suprême de l'appareil formidable dont j'étais en-

touré, me déterminèrent à poursuivre ma route. Du moment que j'avais impunément rempli ma main de l'eau électrique qui brillait sur le bord libre de mon chapeau, je crus pouvoir répéter l'expérience (ce que je fis néanmoins la seconde fois avec une sorte de crainte), et m'assurer si cette lumière phosphorescente n'avait point d'odeur, et si elle ne produisait ni pétillement ni décrépitation. Ainsi, quinze à vingt fois peut-être j'en remplis ma main, en la portant plusieurs fois à mon nez et à mon oreille; mais je ne remarquai jamais rien que la belle lumière qui ne s'élevait pas de ma main au moment où je l'ouvrais, mais qui paraissait appliquée à sa surface, comme un vernis brillant. Cette lueur ne durait qu'un instant. A quelques centaines de pas de là, continuant à cheminer, en fixant pour ainsi dire continuellement l'auréole brillante de mon chapeau, je fus frappé d'une autre lumière moins vive, comme appliquée sur la surface unie de la crosse de mon parapluie, à l'endroit où se trouve la plaque de métal dont la plupart sont pourvus pour y graver un nom, et dont le mien est dépourvu. Comme ci-dessus, mon premier mouvement fut de passer le pouce sur cette partie comme pour éteindre *ce nouveau feu*, qui me devenait aussi importun que l'autre. Même phénomène, c'est-à-dire que la surface frottante devint aussi lumineuse que celle qui était frottée : alors *j'eus peur* de mon parapluie, à la monture métallique duquel mon esprit s'attacha, et sur-le-champ je le jetai à terre. Les éclats de la foudre redoublaient, bien qu'elle me parût être, et qu'elle fût en effet à une certaine distance de moi. Une fois débarrassé de mon parapluie, j'essayai de frotter vivement le bord

de mon chapeau sur la manche de mon habit; mais je ne réussis qu'à rendre plus scintillante la couronne de lumière avec laquelle j'arrivai près de Motiers. J'attribuai sa cessation au voisinage de grands peupliers qui bordent la route près de ce village. Je ne m'arrêtai que très-peu de temps à Motiers, où je pris un guide avec une lanterne, pour m'accompagner jusqu'à ce que j'eusse retrouvé mon parapluie. Je renvoyai ensuite ce guide; et comme l'orage était peu violent alors, je crus pouvoir me servir du parapluie. Je n'eus pas plutôt perdu de vue la lueur de la lanterne, que je remarquai une lumière assez vive à l'extrémité de chaque baleine, qui sont revêtues, comme on le sait, de métal. Ce nouveau phénomène me causa d'abord un peu d'inquiétude, mais un instant de réflexion la fit cesser. Ces espèces de points lumineux n'avaient rien de la vivacité de l'aigrette électrique; c'était un point brillant comme un métal jaune-rouge très-poli; et si j'eusse été moins ému par tout ce qui avait précédé, j'aurais trouvé très-jolis ces points lumineux circulairement placés et décrivant par intervalles égaux le cercle ou la circonférence du parapluie.

L'explication de ce qui précède me paraît simple: L'atmosphère était en quelque sorte sur-saturée d'électricité qui se déposait sur les corps qu'on sait en être de bons conducteurs. Voilà pourquoi elle s'est d'abord portée sur le cordon de soie mouillée qui borde mon chapeau, et sur les pointes mousses qui forment la garniture en laiton de chaque baleine de parapluie. Dans ce dernier cas, le fluide électrique se portait de toutes ces pointes, le long des baleines, sur la canne, et de là

passait par ma main et mon corps pour se rendre à la terre, réservoir commun de cette matière. Ce qui est relatif au chapeau ne s'explique pas aussi aisément en ce qui concerne le ruban qui en forme la bordure; on sait que la soie mouillée est un bon conducteur de l'électricité; mais ce qu'on ne comprend pas trop bien, c'est pourquoi le ruban de même matière qui entoure le fond du chapeau, et qui est fixé par une boucle métallique, n'était nullement lumineux, non plus que cette boucle. Au reste, ce qui résulte plus certainement de cette singularité, considérée dans son ensemble, c'est qu'on peut être exposé à un danger très-menaçant, et en sortir sans éprouver le moindre malaise; et qu'il y a souvent bien loin de l'apparence d'un mal prochain à sa réalité.

(*Bibl. univ.*)

Sur *la Différence de niveau qu'il y a entre la mer Noire et la mer Caspienne.*

Voici la troisième fois que nous entretenons les lecteurs des *Annales* de la différence qu'il y a entre le niveau de la mer Caspienne et celui de la mer Noire. Il nous a paru qu'un fait aussi curieux, et d'où découle la conséquence qu'il existe en Russie une étendue considérable de pays qui est situé au-dessous du niveau de la mer, ne devait pas être légèrement admis. La dissertation que M. Wisniewski vient d'imprimer dans les *Mémoires de Pétersbourg* confirme les résultats que MM. Engelhardt, Parrot et Pansner avaient déjà ob-

tenus. Les nouvelles données sur lesquelles cet astronome s'appuie sont les suivantes :

Trois années d'observations du conseiller Lokhtine donnent, pour la hauteur moyenne du baromètre à Astrakhan, 28pouc.,480 français ; le thermomètre moyen du baromètre = + 17°,5 centigrades ; la température moyenne de l'air = + 10°,34 c.

Cette hauteur du baromètre n'est pas affectée de la capillarité, l'instrument de M. Lokhtine ayant été comparé à un baromètre à siphon de M. Wisniewski.

Pour déduire de ces données l'abaissement d'Astrakhan au-dessous du niveau de la mer, M. Wisniewski admet avec M. Shuckburgh que, dans nos climats et sur les rives de l'Océan, la hauteur moyenne du baromètre = 28p,183 français, les températures moyennes de l'air et du mercure étant + 12°,8 centigrades. Il tire ensuite de là, par les formules connues, que le baromètre de M. Lokhtine doit être à 41toises,16 *au-dessous* de l'Océan. Ajoutant 5 toises à ce résultat pour le rapporter au niveau du Volga, nous trouverons que la dépression de cette rivière à Astrakhan, relativement à la mer Noire, qu'on suppose de niveau avec l'Océan, est de 46toises,16 = 277 pieds = 90 mètres.

Nous avons rapporté tous les élémens du calcul afin qu'on puisse le recommencer, si l'on veut, avec d'autres données que celles qui ont été adoptées généralement (quoique un peu légèrement peut-être), d'après Sir George Shuckburgh.

En 1812, M. Wisniewski fit, à Tangarock, les 10, 11 et 13 août, trois séries d'observations barométriques, qui, comparées aux observations correspondantes de

M. Lokhtine à Astrakhan, donnent des résultats fort concordans dont la moyenne $= 46^{\text{toises}},40$: or, Tangarock n'étant qu'à 12 toises au-dessus de la mer d'Azof, il reste $34^{\text{toises}},40$ pour la dépression du baromètre d'Astrakhan, à quoi ajoutant, comme ci-dessus, 5 toises, hauteur du baromètre de M. Lokhtine au-dessus du Volga, nous trouverons pour la dépression du niveau de cette rivière $39^{\text{toises}},40 = 236$ pieds $= 77$ mètres.

La chute du Volga depuis Astrakhan jusqu'à son embouchure ne m'est pas connue; mais comme elle doit être fort petite, on pourra sans erreur sensible considérer les différences de niveau précédentes, comme se rapportant à la mer Caspienne.

En résumé, on trouve, pour la quantité dont le niveau de la mer Caspienne *est* AU-DESSOUS de celui de la mer Noire, les déterminations suivantes :

D'après MM. Engelhardt et Parrot (1),

1re détermination,	323 pieds =	105 mètres;
2e détermination,	302 pieds =	92 mètres;
3e (un peu douteuse),	305 pieds =	99 mètres.

Suivant M. Pansner (2),

1re déterm.	Incertaine, les baromètres étant trop éloignés.	112 pieds =	36 mètres;
2e	(*Id.*)	185 pieds =	60 mètres.

Enfin, d'après M. Wisniéwski,

1re détermination,	277 pieds =	90 mètres;
2e détermination,	236 pieds =	77 mètres.

---

(1) Voyez *Annales*, tome Ier, pag. 55 et suiv.
(2) Voyez *Annales*, tome XV, pag. 399 et suiv.

ADDITION *à la IIe Note insérée dans le Cahier précédent, par M.* Fresnel.

LORSQU'ON terminait l'impression de cette Note, j'ai trouvé, par une solution mécanique, mais fondée sur une hypothèse empirique, une formule d'intensité pour la lumière réfléchie polarisée perpendiculairement au plan de réflexion; cette formule, que je me propose de calculer de nouveau d'après des considérations plus rigoureuses, paraît être exacte, si l'on en juge du moins par son accord avec plusieurs résultats de l'expérience auxquels je l'ai comparée. Si l'on représente toujours par i et i' les angles d'incidence et de réfraction, et par 1 l'intensité d'un faisceau incident polarisé perpendiculairement au plan de réflexion, l'intensité de la portion de lumière réfléchie est égale à

$$\left(\frac{\sin 2i - \sin 2i'}{\sin 2i + \sin 2i'}\right)^2.$$

Cette formule, jointe à celle que j'ai déjà donnée pour la lumière polarisée dans le plan de réflexion, doit donner l'intensité de la lumière réfléchie, lorsque la lumière incidente n'a éprouvé aucune polarisation préalable; représentant l'intensité de celle-ci par 2, celle de la lumière réfléchie sera égale à

$$\frac{\sin^2(i-i')}{\sin^2(i+i')} + \left(\frac{\sin 2i - \sin 2i'}{\sin 2i + \sin 2i'}\right)^2.$$

Cette formule, appliquée aux deux observations déjà citées de M. Arago, s'accorde, à un centième près, avec la première, et donne sur la seconde six centièmes de différence.

Ayant mesuré depuis long-temps plusieurs déviations du plan de polarisation dans la réflexion sur le verre et sur l'eau,

je pouvais mettre ces formules à de nouvelles épreuves, en en déduisant l'expression générale de l'azimut du plan de polarisation du faisceau réfléchi, et l'appliquant aux cas observés. Lorsque le plan de polarisation de la lumière incidente est incliné de 45° sur le plan de réflexion, les deux faisceaux polarisés parallèlement et perpendiculairement au plan d'incidence dans lesquels on peut la décomposer sont égaux; et a et b représentant les intensités des vitesses d'oscillation dans les mêmes faisceaux réfléchis, $\frac{b}{a}$ est la tangente de l'angle que le plan de polarisation de la lumière totale réfléchie fait avec le plan d'incidence. Mais nous avons, pour les valeurs de b et de a:

$$a = \frac{\sin(i - i')}{\sin(i + i')} \quad \text{et} \quad b = \frac{\sin 2i - \sin 2i'}{\sin 2i + \sin 2i'};$$

ainsi, la tangente de l'azimut du plan de polarisation de la lumière réfléchie est égale à

$$\frac{(\sin 2i - \sin 2i')\sin(i + i')}{(\sin 2i + \sin 2i')\sin(i - i')}.$$

Le tableau suivant offre la comparaison de plusieurs angles déduits de cette formule avec ceux qui m'avaient été donnés par l'observation.

Réflexion de la lumière polarisée suivant un azimut de 45° relativement au plan de réflexion.

SUR LE VERRE.

INCIDENCES comptées de la perpendiculaire.	AZIMUT du plan de polarisation de la lumière réfléchie, avec le signe relatif à l'image du plan primitif. D'après la formule.	D'après l'observation.	DIFFÉRENCES.
24°	37°.54′	38°.55′	—1°.1′
39°	24°.38′	24°.35′	+0°.3′
49°	10°.52′	11°.45′	—0°.53′

La lumière était polarisée dans le plan de réflexion vers l'incidence de $56^\circ\frac{1}{2}$, conformément à la loi de Brewster, avec laquelle s'accorde la formule.

60°	— 5°.29′	— 5°.15′	—0°.14′
70°	—20°.24′	—19°.52′	—0°.32′
80°	—33°.25′	—32°.45′	—0°.40′
85°	—39°.19′	—38°.55′	—0°.24′
87°	—41°.36′	—40°.55′	—0°.41′
88°	—42°.44′	—41°.15′	—1°.29′
89°	—43°.52′	—44°.35′	+0°.43′

SUR L'EAU.

La lumière réfléchie était polarisée dans le plan de réflexion vers l'incidence de 53°, conformément au calcul.

60°	—10°.51′	—10°.20′	—0°.31′
70°	—24°.48′	—25°.20′	+0°.32′
80°	—35°.49′	—36°.20′	+0°.31′
85°	—40°.32′	—40°.50′	+0°.18′

On voit que la différence la plus considérable entre le calcul et l'observation est d'un degré et demi pour la réflexion

sur le verre sous l'incidence de 88°, et que cette discordance un peu forte provient sans doute de l'inexactitude de l'observation, si l'on en juge du moins par les signes contraires de la différence qui la suit et de celle qui la précède. Il est difficile de déterminer avec une grande précision le plan de polarisation d'un faisceau de lumière, en l'observant au travers d'un rhomboïde de spath calcaire, parce que l'image extraordinaire est invisible un peu avant et un peu après le moment où la section principale du rhomboïde coïncide avec le plan de polarisation. J'espère néanmoins obtenir des résultats plus exacts en me servant de la lumière du soleil, dont la grande vivacité permet de suivre l'image extraordinaire plus près du plan de polarisation. En attendant ces nouvelles vérifications, on peut considérer l'exactitude de la formule comme très-probable, par son accord assez satisfaisant avec les observations faites, et sa coïncidence plus certaine encore avec l'expérience dans les trois cas principaux, 1° quand les rayons incidens sont perpendiculaires à la surface réfléchissante; 2° lorsqu'ils font avec elle l'angle de la polarisation complète; 3° quand ils lui sont parallèles; car elle indique que, dans le premier cas, le plan de polarisation ne change pas; que, dans le second, il se confond avec le plan de réflexion; et, dans le troisième, en est éloigné de 45°, du côté opposé à l'image du plan primitif de polarisation; en sorte qu'il se trouve sur le prolongement de celui-ci : or, toutes ces conséquences de la formule s'accordent avec l'observation.

Les deux formules d'intensité que je viens de donner peuvent servir encore à calculer la proportion de lumière polarisée par réflexion; il suffit pour cela de retrancher

$$\left(\frac{\sin 2i - \sin 2i'}{\sin 2i + \sin 2i'}\right)^2 \text{ de } \frac{\sin^2 (i-i')}{\sin^2 (i+i')},$$

et de diviser leur différence par leur somme.

Notice *sur le Sulfate de quinine.*

Par M. Robiquet.

En chimie, l'auteur d'une découverte a, pour ainsi dire, rempli sa tâche lorsqu'il est parvenu à assigner les caractères distinctifs de son nouveau produit, et qu'il en a signalé les principales combinaisons; mais il est une foule de considérations secondaires qui ne peuvent être suggérées dès le principe, et que le temps seul doit amener. Ces remarques sont surtout applicables aux substances végétales, qui souvent sont des plus compliquées dans leur nature, et qui ont une telle tendance à se combiner les unes aux autres, qu'il devient extrêmement difficile d'en assigner immédiatement les vrais caractères. On ne doit donc point s'étonner de voir échapper, même aux plus habiles, quelques faits particuliers. Les alcalis végétaux, corps nouvellement découverts et peu connus dans leur manière d'agir sur les autres substances, n'ont point encore été étudiés avec assez de détails dans leurs diverses combinaisons ou modifications. Les plus importans et les plus utiles d'entre eux seront nécessairement les premiers à fixer l'attention, et sous ce point de vue, la quinine mérite à tous égards de devenir un des principaux objets de nos recherches. Issue d'un médicament héroïque, et considérée jusqu'à présent comme le fébrifuge par excellence, nous sommes des plus intéressés à en bien étudier toutes les propriétés.

L'observation que j'aurai à présenter serait de trop peu de valeur, et ne mériterait, pour ainsi dire, aucune attention si elle n'avait pour objet de mieux faire con-

naître un médicament que chacun est jaloux de pouvoir apprécier. La quinine a, comme tous les autres alcalis, la propriété de se combiner aux acides et de former des sels; ce sont même ces sortes de combinaisons qu'on a préféré employer en médecine, tant pour les avoir à l'état de dissolution, que pour se rapprocher le plus possible de leur manière d'être dans le végétal. MM. Pelletier et Caventou, en nous faisant connaître ce nouvel alcali, nous ont dit que son sulfate neutre cristallisait sous forme d'aiguilles ou de lames très-étroites, allongées, nacrées et légèrement flexibles, ressemblant à de l'amiante. Ce sel, selon les mêmes auteurs, est peu soluble à froid, si ce n'est dans un excès d'acide. Il est beaucoup plus soluble à chaud, et cristallise par refroidissement, etc. Aussitôt que ce médicament fut mis en usage, j'en préparai d'assez grandes quantités pour moi et pour plusieurs de mes confrères. Le sulfate que j'obtenais n'avait point les caractères que je viens d'indiquer; il était en prismes solides, transparens, de forme quadrangulaire aplatie, bien terminés, et très-solubles, même à froid. Aussi plusieurs des médecins qui en avaient prescrit, et qui déjà avaient eu l'occasion d'employer celui qui avait été fourni par les auteurs de cette intéressante découverte, refusèrent-ils de se servir du mien. Comme j'étais certain de la qualité des matières premières que j'avais employées, et que d'ailleurs j'avais apporté dans cette préparation tout le soin possible, je ne savais réellement à quelle cause particulière attribuer cette différence remarquable. Je voulus cependant remonter à la source, et je me décidai à soumettre ces deux sulfates à un examen comparatif et rigoureux.

Voici quel fut le résultat de mes observations : je vis d'abord que la dissolution du sulfate prismatique était acide, tandis que l'autre était alcaline ; mais ni l'acidité de l'une, ni l'alcalinité de l'autre, n'étaient sensibles à la saveur; les réactifs seuls pouvaient l'indiquer. Mon premier soin fut de m'assurer de la stabilité de ces caractères, et je fis cristalliser à plusieurs reprises le sulfate prismatique, pensant que je le débarrasserais ainsi de son excès d'acide ; l'observation me prouva que, quel que soit le nombre de cristallisations qu'on lui faisait subir, il conservait toujours sa forme, sa transparence et son acidité ; ainsi, nul doute que ce caractère d'acidité ne soit constant dans le sulfate prismatique. Mêmes épreuves furent faites sur le sulfate alcalin, et il s'est également reproduit identique à lui-même, au moins quant à son aspect extérieur et à son alcalinité. Cependant cette alcalinité semblait prendre plus d'intensité.

D'après ce premier essai, je dus regarder ces deux sulfates comme entièrement distincts, et, pour me conformer aux règles ordinaires de la nomenclature, je désignai l'un par la dénomination de *sous-sulfate*, et j'appelai l'autre *sulfate acide*. Ces deux points extrêmes en supposaient un intermédiaire : je cherchai à le déterminer; mais je ne pus y parvenir, si ce n'est à l'état de dissolution. En effet, de la quinine dissoute à chaud dans de l'alcool, et exactement saturée par de l'acide sulfurique, donne, par refroidissement, un sulfate en tout semblable à celui décrit et préconisé par MM. Pelletier et Caventou. Dès-lors il me fut facile de me rendre raison des différences observées, et je vis que si j'obtenais constamment un sulfate acide, cela tenait à ce que, traitant

ma quinine par l'eau, je ne parvenais à la dissoudre qu'à la faveur d'un léger excès d'acide; tandis que si on se sert d'alcool, comme la quinine peut s'y dissoudre, on est plus maître de n'ajouter que la portion d'acide strictement nécessaire à la saturation. Une fois fixé sur ces idées, il ne me restait plus qu'à faire l'analyse exacte de ces deux sulfates. Pour y parvenir, je fis dissoudre dans de l'eau distillée des quantités semblables de chacun d'eux, après toutefois les avoir également desséchées à la température du bain-marie; puis j'y ajoutai une même proportion de potasse caustique pure. Cette décomposition, faite à chaud, se présente avec quelques caractères particuliers. La solution devient d'abord lactescente, et plus tard on voit des gouttelettes huileuses venir nager à la surface; enfin, par les progrès d'une ébullition soutenue, la quinine se coagule, et se réunit en grosses masses blanches, opaques et très-poreuses: c'est même à ce caractère qu'on reconnaît que la décomposition est complète. Pour achever l'analyse, il ne reste plus qu'à filtrer la liqueur, pour la séparer de la quinine, à bien laver le filtre à la manière ordinaire, puis ensuite à verser dans la liqueur sur-saturée d'acide nitrique une petite quantité de nitrate de baryte. Le sulfate de baryte qu'on obtient ainsi donne, comme chacun sait, la proportion d'acide sulfurique contenu dans le sel soumis à l'examen. C'est par ce procédé que j'ai analysé du sulfate acide de troisième cristallisation, du sous-sulfate de première cristallisation et du sous-sulfate de troisième. Je pense qu'il est inutile d'observer que la quinine, une fois séparée de

son sulfate, ne retenait aucune portion d'acide sulfurique. Je m'en suis assuré à chaque analyse.

100 sulfate acide de quinine, 3e crist.	acide,	19,1	82,6.
	quinine,	63,5	
100 Sous-sulfate, 1re crist.	acide,	11,3	90,3.
	quinine,	79,	
100 Sous-sulfate, 3e crist.	acide,	10,	90,9.
	quinine,	80,9	

Les quantités de quinine indiquées ci-dessus ne peuvent être regardées comme très-rigoureuses, malgré tous les soins que j'ai mis à cette analyse. Les eaux de lavage ont dû nécessairement en entraîner une petite portion; néanmoins je suis loin de penser que tout le déficit puisse être attribué à cette seule cause, et je crois qu'il est dû en grande partie à de l'eau contenue dans ces sels. Cependant MM. Pelletier et Caventou n'en font aucune mention dans leurs analyses, parce qu'ils ont adopté un autre mode d'opérer; ils ont mesuré directement les quantités respectives d'acide et de base nécessaires à la saturation, et alors ils ont fait abstraction de l'eau qui peut être contenue dans les sels cristallisés.

Remarquons maintenant que ce défaut d'aptitude à donner des sels saturés, propriété qui est peut-être commune à plusieurs autres alcalis végétaux, indique dans ces corps une alcalinité peu tranchée, surtout si on fait attention que beaucoup d'entre eux conservent leur type de cristallisation dans leurs diverses combinaisons salines; et une nouvelle preuve qu'ils ont une très-faible affinité pour les acides, c'est que l'eau seule détermine

des changemens de proportions dans ces combinaisons. C'est ainsi que le sous-sulfate perd, à chaque nouvelle cristallisation, une petite quantité de son acide, et je crois bien qu'il en est de même pour le sulfate acide. Cependant je ne l'ai pas vérifié pour ce dernier. Quoi qu'il en soit, il résultera aussi des observations précédentes, que les différences assignées par MM. Pelletier et Caventou, entre la cinchonine de Gomez et la quinine, seront moins tranchées qu'elles ne l'étaient d'abord. Je suis cependant bien loin de prétendre que ces deux corps soient identiques ; mais je demande la permission d'exposer mes idées, et d'appeler l'attention sur ce point. Je dirai d'abord qu'il paraît assez étonnant de voir coexister deux alcalis dans une même partie d'un végétal, si surtout on admet que l'un et l'autre jouissent de propriétés médicales semblables. Cependant il est certain qu'il y a quant à présent des différences assez marquées pour autoriser provisoirement la séparation en deux espèces distinctes. Ainsi, dans les mêmes circonstances, l'une cristallise et n'a que peu ou point de saveur, tandis que l'autre ne cristallise point et a une saveur amère très-prononcée ; mais cette saveur, ce défaut de cristallisation ne sont-ils pas dus à la présence d'un corps étranger ? Si on s'en rapporte à l'analogie, on serait assez disposé à le croire ; car jusqu'à présent tous ces alcalis, et même la plupart des autres principes particuliers à certains végétaux, possèdent la propriété de cristalliser ; pourquoi celui-ci ne l'aurait-il pas ? J'ai eu la même idée relativement à l'émétine, et M. Pelletier est parvenu, il y a peu de temps, à l'obtenir incolore et cristalline : jusque là on lui avait reconnu des propriétés opposées. On pour-

rait donc regarder comme présumable que la quinine, telle que nous la connaissons maintenant, n'est point dans son état de pureté; je dirai plus, c'est qu'il serait possible que la propriété fébrifuge qu'on lui attribue ne lui appartînt pas, et voici comment je le conçois. Si notre quinine actuelle n'est pas une substance pure, il y a tout lieu de croire qu'elle est formée de cinchonine unie à un principe amer: or, jusqu'à présent aucun fait bien positif n'est venu constater cette propriété anti-intermittente dans la cinchonine; tandis qu'au contraire on sait que la plupart des végétaux qui contiennent des principes amers possèdent cette faculté à un degré plus ou moins marqué.

Si, pour continuer le parallèle, je passe maintenant aux combinaisons salines de ces deux alcalis, j'y vois assez peu de différences, encore pourrait-on les attribuer aux états particuliers de saturation. Je viens de démontrer que le sulfate acide de quinine a la même forme que le sulfate de cinchonine. Les nitrates de ces deux bases ont une propriété assez singulière, mais qui est la même dans tous les deux : c'est qu'arrivé à un certain degré de concentration, une portion du nitrate se sépare en gouttelettes d'apparence oléagineuse, et ces gouttelettes prennent par le refroidissement l'aspect de la cire. Enfin, l'oxalate et le tartrate de cinchonine sont insolubles comme ceux de quinine.

Dans tout ce qui précède, il n'y a certainement pas des motifs assez plausibles pour croire à l'identité de ces deux alcalis, et ce n'est pas là non plus ma prétention; mais j'ai voulu, d'après mes doutes, donner des raisons qui militent en faveur de cette similitude, et sur-

tout faire sentir la nécessité d'entreprendre de nouvelles expériences médicales sur la cinchonine, parce que, suivant moi, on doit la regarder comme un alcali plus pur, non-seulement en raison de sa propriété de cristalliser, mais encore parce qu'elle exige pour sa saturation plus d'acide que la quinine.

Je terminerai ce court exposé par faire remarquer, relativement aux deux sulfates de quinine dont j'ai fait mention, que je regarde comme plus avantageux pour l'usage médical de se servir du sulfate acide, parce qu'il est très-soluble, et que, pour parvenir à dissoudre ce sous-sulfate, on est obligé d'y ajouter une quantité indéterminée d'acide, et qui peut faire varier les propriétés du médicament.

MÉTHODE *simple et facile d'épurer de leur pigment fauve, les bains faits avec des bois du Brésil d'une qualité inférieure, savoir : les bois de Bimas, de Sainte-Marthe, d'Aniola, de Nicaragua, de Siam ou de Sapan, etc., et de les substituer avec un succès assuré au véritable Fernambouc.*

Par M. le Dr DINGLER,

Chimiste-Fabricant à Augsbourg, et Rédacteur du *Journal Polytechnique* d'Augsbourg.

LES bois que nous venons de désigner sont, sous tous les rapports, moins riches en couleur rouge que le véritable Bois de Fernambouc. Ils contiennent d'ailleurs,

presque tous, une quantité assez considérable d'une couleur fauve, qui ternit le lustre du rouge, et oppose des obstacles presque insurmontables à son application dans la teinture ou dans l'impression des toiles.

Le véritable Fernambouc étant devenu très-rare, et son prix si exorbitant, que les fabricans ne sont presque plus en état de s'en procurer, il ne sera pas sans intérêt de faire connaître un moyen de le remplacer.

Les bois indiqués étant coupés ou raclés, comme à l'ordinaire, on en extrait, soit par l'ébullition, soit par l'action des vapeurs aqueuses, toute la couleur qu'ils recèlent. On fait évaporer les décoctions obtenues par ce procédé, jusqu'à ce que, par exemple, sur 4 kilog. de bois employé, il ne reste que 12 à 15 kilog. de liquide. Ce résidu étant refroidi, on y verse, douze à dix-huit heures après, 2 kilog. de lait écrémé. Après avoir bien remué ce mélange, on le fait bouillir pendant quelques minutes, puis on le fait passer par un morceau de flanelle d'un tissu bien serré. On verra alors la couleur fauve s'attacher à la partie caséeuse du lait qui se précipite d'elle-même dans cette décoction, sans causer la moindre perte dans la quantité de couleur rouge.

Pour employer dans la teinture la liqueur obtenue de cette manière, on n'a qu'à la délayer avec la quantité convenable d'eau pure. Mais si l'on veut s'en servir pour imprimer ou peindre les toiles, il faut encore faire évaporer la liqueur obtenue sur 4 kil. de bois, jusqu'à un résidu de 5 à 6 kilog. En y ajoutant alors, soit de l'amidon, soit une autre substance propre à l'épaissir à un degré convenable, et la quantité suffisante d'une solution d'étain ou d'une

base quelconque pour raviver la couleur, on aura un rouge propre à l'application sur toiles, lequel, s'il ne surpasse pas le rouge du Fernambouc véritable, rivalisera certainement avec lui, tant par l'éclat que par l'intensité de sa couleur.

Il faut que la quantité de lait écrémé qu'on emploie soit toujours en proportion de la quantité de couleur contenue dans les bois dont on se sert. 2 kil. de lait suffiront pour 6 à 8 kilog. des bois jeunes, et conséquemment pauvres en couleur; et l'évaporation sera réglée d'après le même principe, dans le cas que l'on voudra s'en servir pour les couleurs d'application sur toiles. J'ai cependant opéré avec des bois rouges d'une qualité inférieure, et qui étaient aussi riches en couleur que le meilleur Fernambouc véritable. Le fabricant de laques rouges déterminera facilement, par les différentes nuances des couleurs qu'il obtient de ces bois, la quantité qui lui en est nécessaire pour remplacer le Fernambouc.

On peut se servir des décoctions immédiatement après les avoir traitées de la manière que je viens d'exposer : elles acquièrent par cette opération toutes les qualités qu'elles n'obtiennent ordinairement que par un long repos.

(Extrait du *Journal Polytechnique d'Augsbourg.*)

NOUVELLES OBSERVATIONS *relatives au Magnétisme.*

Par M. HANSTEEN, Professeur à Christiania.

DANS le Mémoire dont nous allons présenter l'analyse, M. Hansteen annonce trois découvertes qui seraient très-importantes. Suivant lui, l'*intensité* du magnétisme terrestre est sujette à des variations diurnes et annuelles; de telles variations ont également lieu *dans l'inclinaison* de l'aiguille aimantée; enfin, il n'existe pas dans nos climats de corps, quelle qu'en soit la nature, qui, placé verticalement, ne possède, à ses deux extrémités, des poles magnétiques bien prononcés.

De même que pour juger des changemens de la pesanteur terrestre on se sert de la durée des oscillations d'un pendule invariable, quand on veut reconnaître si le magnétisme du globe éprouve quelque altération, on compte le nombre d'oscillations qu'une aiguille magnétique exécute en un temps donné.

L'aiguille dont se sert M. Hansteen est cylindrique et d'acier bien trempé; elle a 2 pouces $\frac{3}{4}$ de long et $\frac{3}{40}$ de pouce de diamètre; elle est suspendue à l'aide d'un fil de soie sans torsion, et renfermée dans une boîte qui porte au fond un arc divisé à l'aide duquel on évalue l'amptitude des oscillations : on ne commence à compter qu'au moment où les élongations sont de 20°.

Les temps où commencent les oscillations, de dix en dix, sont marqués sur un chronomètre; on continue ainsi jusqu'à la 360me oscillation. Alors les arcs de vibration ne sont déjà plus que de 2°.

Pour avoir la durée de 300 oscillations, M. Hansteen compare respectivement les instans où ont commencé les 0, 6me, 12me, 18me et 60me oscillations, aux heures que le chronomètre marquait au commencement de la 300me, de la 306me, etc. Toutes ces différences seraient égales si la résistance de l'air n'avait pas graduellement diminué l'amptitude des arcs; mais, par cette cause, la 360me oscillation, comparée à la 60e, donne un intervalle d'environ $\frac{8}{10}''$ plus court que celui qu'on obtient en retranchant l'heure du chronomètre, au commencement des observations, de l'heure qu'il marque à la 300e oscillation. Le résultat que M. Hansteen adopte pour la durée de 300 oscillations est la moyenne des 11 déterminations légèrement différentes qu'il a ainsi obtenues.

Les intensités étant en raison inverse des durées des oscillations élevées au carré, on peut prendre pour unité l'une quelconque des durées, et exprimer toutes les autres en fonction de celle-là.

Le temps le plus long dont l'aiguille de M. Hansteen eut eu besoin, quand il commença ses calculs, pour faire 300 oscillations, était de 813″,6 : il y avait alors une aurore boréale. Considérant l'intensité magnétique ce jour-là comme un *minimum*, M. Hansteen la prit pour unité, et calcula les autres intensités T, correspondantes à des durées I par la proportion :

$$I : 1 :: (813'',6)^2 : T^2,$$

d'ou l'on tire :

$$I = \left(\frac{813'',6}{T}\right)^2;$$

telle est la formule à l'aide de laquelle ont été obtenus

tous les résultats que nous allons rapporter. Pour que le lecteur puisse transformer à vue, s'il le veut, les variations d'intensité en changemens de durée, nous transcrirons cette petite table :

Durées de 300 oscillations.	Intensités correspond.	Durées de 300 oscillations.	Intensités correspond.
813″,6	1,0000	808″,0	1,0139
813,0	1,0015	807,0	1,0164
812,0	1,0039	806,0	1,0189
811,0	1,0064	805,0	1,0215
810,0	1,0089	804,0	1,0240
809,0	1,0114	803,0	1,0265

On pourra donc supposer qu'une variation de 0,0025, sur l'expression numérique de l'intensité, correspond à une seconde de changement sur le temps qu'emploie l'aiguille de M. Hansteen pour faire 300 oscillations.

Table des intensités moyennes correspondantes à divers mois et à différentes heures.

Mois.	8 h. mat.	10 h. ½.	4 h. soir.	7 h.	10 h. ½.	Moyenn.
1819 Déc.	1,01931	1,01902	1,01966	1,01929	1,01732	1,01912
1819 Mars	1,01095	1,01010	1,01147	1,01125	1,01063	1,01081
1820 Avr.	1,00717	1,00625	1,00879	1,00966	1,00903	1,00818
Mai.	1,00582	1,00548	1,00849	1,00844	1,00740	1,00713
Juin.	1,00407	1,00397	1,00647	1,00700	1,00665	1,00563
Juill.	1,00277	1,00235	1,00461	1,00500	1,00548	1,00404
Août	1,00339	1,00335	1,00543	1,00570	1,00555	1,00468
Sept.	1,00560	1,00508	1,00708	1,00711	1,00715	1,00640
Oct.	1,00886	1,00800	1,00909	1,00953	1,00953	1,00900

M. Hansteen tire de cette table les conclusions :

1°. Que l'intensité magnétique est sujette à une variation diurne ;

2°. Que le *minimum* de cette intensité a lieu entre 10 heures et 11 heures du matin, et le *maximum* entre 4 et 5 heures de l'après-midi ;

3°. Que les intensités moyennes mensuelles sont elles-mêmes variables ;

4°. Que l'intensité moyenne vers le solstice d'hiver surpasse beaucoup l'intensité moyenne donnée par des jours semblablement placés relativement au solstice d'été.

5°. Que les variations d'intensité moyenne, d'un mois à l'autre, sont à leur *minimum* en décembre et en juin, et à leur *maximum* vers les équinoxes.

En discutant les observations partielles, le même physicien a reconnu de plus que les moyennes variations journalières sont plus distantes en été qu'en hiver. Voici les extrêmes de ces variations, exprimées en parties de l'unité et en secondes : les variations moyennes pour chaque mois sont exprimées seulement en parties de l'unité :

Mois.	*Maximum.*		*Minimum.*		Différences exprimées en durées.	Variations moyennes journalières.
	Intensités.	Durées.	Intensités.	Durées.		
Déc.	1,0242	803",9	1,0082	810",3	7",4	0,00064
Mars.	1,0174	806,6	1,0042	811,9	5,3	0,00137
Avril.	1,0151	807,5	1,0039	812,0	4,5	0,00341
Mai.	1,0161	807,1	1,0016	813,0	5,9	0,00301
Juin	1,0088	810,1	1,9883	818,4	8,3	0,00303
Juill.	1,0104	809,4	1,9996	813,8	4,4	0,00313
Août.	1,0078	810,5	1,0002	813,5	3,0	0,00235
Sept.	1,0111	809,2	1,0005	813,4	4,2	0,00207
Oct.	1,0120	808,7	1,0068	810,9	2,2	0,00155

Représentons par F la force magnétique totale du globe dans un lieu donné ; par H la partie de cette force décomposée parallèlement à l'horizon ; par n l'inclinaison de l'aiguille. Il est évident que $H = F \cos n$; d'où il résulte que H peut changer, quoique F reste constant, par le seul fait de la variation de n. Les observations précédentes d'intensité, ayant été faites avec une aiguille horizontale, prouvent donc ou que la force magnétique du globe n'est pas constante, ou que l'inclinaison varie. Jusqu'ici nous n'avons aucun moyen de choisir entre ces deux hypothèses ; mais M. Hansteen annonce avoir reconnu, à l'aide d'une excellente boussole de Dollond, que l'inclinaison de l'aiguille est d'environ 15′ plus grande en été qu'en hiver, et de 4 ou 5′ plus grande le matin que dans l'après-midi : les variations d'intensité ne seraient donc, suivant lui, qu'apparentes, et résulteraient seulement des changemens d'inclinaison.

Les changemens diurnes et annuels dans l'inclinaison de l'aiguille aimantée, indiqués par M. Hansteen, doivent-ils être adoptés sans un nouvel examen ? J'avoue que je ne le pense pas. M. Gilpin, dont les physiciens connaissent l'exactitude, dit positivement avoir reconnu que l'inclinaison à Londres n'éprouve pas de variation diurne appréciable. (*Trans.* 1806, p. 396.) Les valeurs qu'il donne pour l'inclinaison dans tous les mois de l'année 1787, ne paraissent pas non plus favorables à l'idée d'un changement annuel aussi considérable que celui qu'adopte le savant professeur norwégien. Voici la suite de ces valeurs : la première est l'inclinaison de janvier, et la dernière celle de décembre : 72°.3′; 72°.7′; 72°.6′;

72°.7′; 72°.8′; 72°.7′; 72°.6′; 72°.6′; 72°.6′; 72°.5′; 72°.5′; 72°.4′.

M. Hansteen parle aussi d'un affaiblissement d'intensité observé pendant une aurore boréale. M. de Humboldt avait déjà fait à Berlin, il y a quelques annnées, une remarque analogue; mais tant que les observations de l'aiguille horizontale n'auront pas été combinées avec des observations simultanées de l'aiguille d'inclinaison, il ne sera pas démontré que l'intensité varie réellement pendant les apparitions de ce singulier phénomène.

M. Hansteen annonce enfin, et ce ne serait pas le fruit le moins curieux de son travail, que l'intensité magnétique est toujours affaiblie quand la lune passe par l'équateur. N'ayant pas sous les yeux les observations partielles et détaillées faites dans différentes lunaisons, il m'est impossible de dire quelle est la probabilité de la conséquence que M. Hansteen en tire. Je dois ajouter qu'on ne voit nulle part, dans l'écrit du professeur norwégien, qu'il ait corrigé ses résultats de l'influence des variations de température.

M. Hansteen ayant fait, en 1820, un voyage à Copenhague, répéta, dans la *tour Ronde*, où il demeurait, ses observations d'intensité. Cette tour cylindrique, dont les murs extérieurs ont 4 pieds 4 pouces de diamètre, s'élève à la hauteur de 126 pieds. Dans le centre de la tour a été bâti un cylindre creux dont le diamètre intérieur égale 4 pieds 6 pouces. On monte au sommet de la tour par un chemin en spirale qui fait sept circonvo-

lutions autour du cylindre intérieur. Voici maintenant les observations :

La durée de 300 oscillations de l'aiguille était :

Dans un jardin........................	779″,0
Au pied de la tour......................	787,0
Au sommet de la tour..................	842,4
Après être descendu d'un tour du chemin en spirale..............................	836,6
Après une nouvelle descente de 2 tours.....	837,3
On descend encore de 1 tour ½..........	834,4
On descend de nouveau de 2 tours......	804,1 ?
Au pied de la tour, dans l'intérieur........	813,0

Des résultats aussi discordans ayant excité l'attention de M. Hansteen, il parvint, après avoir fait de nombreux essais sur divers corps solides, à cette règle générale :

Une aiguille aimantée horizontale, placée *au pied* d'un objet vertical quelconque, oscille plus vite quand elle est au nord qu'au sud de l'objet. A l'extrémité supérieure, au contraire, le *maximum* de vitesse de l'aiguille a lieu du côté de la face sud de l'objet, et le *minimum* sur la face nord. M. Hansteen tire de là cette conclusion : qu'un objet vertical, quelle qu'en soit la nature, a, dans nos climats, deux poles magnétiques distincts : *le pole sud-est dans le haut et le pole nord en bas.*

(Nous avons puisé les documens qui ont servi à la rédaction de cet article dans le *Philos. Journ.* 1821. N° 8, p. 295.)

ANALYSE *des eaux minérales de Molitx, dans les Pyrénées.*

PAR M. JULIA,

Membre de la Commission d'examen de la Marine pour le service de santé.

(Extrait.)

MOLITX, village peu considérable du Conflent, à une lieue nord-est de Prades, est situé dans une gorge de montagnes très-resserrées faisant partie du Canigou, et d'où l'on en découvre tout le pic. Après une descente rapide d'environ demi-heure, on arrive au torrent dit de *Riell.* C'est au-dessus et le long de ce torrent que l'on trouve, dans un court espace, plusieurs sources sulfureuses, ou mieux plusieurs filtrations de la même eau. Depuis quelques années, en faisant des excavations, on a découvert une source assez forte, à laquelle on a donné le nom du propriétaire *Mamet.* On ne trouve dans ces bains aucune trace de la grandeur romaine. Il paraît qu'ils n'ont été employés que vers le milieu du 18e siècle, puisque Carrère se vante de les avoir fait connaître, et qu'il dit qu'ils n'ont été mis en usage que depuis 1754, époque à laquelle il les visita et en observa les effets.

La source principale des bains de Molitx est à environ 6 mètres au-dessus du torrent de Riell; sa température est de 29° (1).

---

(1) Il est probable que ce sont des degrés de Réaumur; M. Julia ne s'explique pas à cet égard. (R.)

Une deuxième source peu abondante, à laquelle on a donné le nom d'*Eau froide*, a une température de 22°.

Enfin, la source Mamet, située à environ deux cents pas de l'établissement, 12 mètres au-dessus du torrent, a une température de 28°.

Les eaux de ces trois sources sont claires, d'une saveur et d'une odeur hépatiques très-prononcées : elles charrient quelques glaires qui, séchées sur le papier, brûlent en répandant une odeur suffocante d'acide sulfureux.

Les réactifs ayant produit les mêmes effets avec l'eau des trois sources, M. Julia s'est borné à faire l'analyse de l'eau de la source principale, qui est la plus abondante et la plus employée.

En soumettant l'eau à l'ébullition, il s'en est dégagé de l'hydrogène sulfuré et de l'acide carbonique, que l'on a recueillis; le premier, dans une dissolution acide d'acétate de plomb, et le second dans une dissolution de chlorure de calcium et d'ammoniaque. Les autres principes ont été déterminés par les moyens ordinaires.

28 litres ont donné 96 pouces cubes d'hydrogène et $12\frac{1}{2}$ p. c. d'acide carbonique.

Cette quantité d'eau, évaporée à siccité, a laissé un résidu pesant 12 grammes, et composé de la manière suivante :

Sel marin,	5,2 grammes.
Sulfate de soude,	1,5
Carbonate de soude,	3,9
——— de chaux,	0,05
Silice,	0,93
Perte,	0,42
	12,00.

D'après cette analyse, les eaux minérales de Molitx doivent être classées parmi les eaux sulfureuses qui tirent leurs vertus de l'hydrogène sulfuré.

RÉSULTAT *de la vente des laines et des bêtes à laine Mérinos, faite à l'Établissement rural et royal de Rambouillet, les* 8 *et* 9 *juin* 1821.

LES laines ont été adjugées au prix de 4 fr. 57 c. le kilog. en suint, et y compris les frais de vente.

La laine d'agneau ou l'agnelin a été adjugée à 3 fr. 82 c. le kilog.

Il a été vendu 70 béliers et 64 brebis, couverts de leur laine.

Le bélier le plus cher a été adjugé à 3,117 fr. 50 c., également compris les frais de vente.

Le bélier le moins cher a été adjugé à 376 fr. 25 c.

Le prix moyen des béliers est de 867 fr. 69 c.

La brebis la plus chère vendue a été adjugée à 258 fr.

La brebis la moins chère a été adjugée à 134 fr. 38 c.

Le prix moyen des brebis est de 156 fr. 20 c.

Les Commissaires, SYLVESTRE, BOSC, HUZARD.

JOURS.	9 HEURES DU MATIN			MIDI.			3 HEURES DU SOIR.			9 HEURES DU SOIR.			THERMOMÈTRE.		ÉTAT DU CIEL à midi.	VENTS.
	Barom. à 0°.	Therm. extér.	Hygr.	Barom. à 0°.	Therm. extér.	Hygr.	Barom. à 0°.	Therm. extér.	Hygr.	Barom. à 0°.	Therm. extér.	Hygr.	maxim.	minim.		
1	750,13	+21,9	72	749,86	+23,8	69	748,82	+20,5	80	750,33	+17,8	85	+25,6	+17,3	Couvert.	S. O.
2	751,55	+21,8	64	751,62	+25,3	52	751,10	+21,9	60	751,03	+15,4	95	+25,3	+15,0	Nuageux.	S. O.
3	751,50	+20,5	59	750,90	+23,8	46	750,40	+24,5	44	751,44	+17,9	82	+24,5	+14,8	Nuageux.	S. O.
4	756,00	+11,0	90	757,83	+15,3	68	758,92	+17,3	51	761,03	+13,0	65	+17,3	+11,0	Couvert.	N. N. O.
5	763,57	+17,0	37	763,17	+20,8	36	762,02	+21,3	30	761,54	+15,5	51	+21,3	+8,8	Nuageux.	N. N. O. faible.
6	758,48	+19,0	46	757,32	+18,3	44	756,88	+17,1	46	754,73	+13,2	70	+19,0	+10,5	Couvert.	N. N. O.
7	753,44	+16,9	54	753,37	+17,0	61	753,32	+17,5	48	754,13	+12,8	74	+17,9	+11,8	Très nuageux.	O. N. O.
8	755,00	+12,1	83	755,04	+16,0	65	755,41	+15,2	64	757,47	+13,4	77	+16,0	+11,5	Couvert.	N. O.
9	759,41	+15,0	66	759,69	+18,0	57	759,52	+18,9	52	760,57	+13,0	7[illegible]	+18,9	+9,4	Quelques éclaircies.	N.
10	760,88	+17,8	58	761,02	+18,8	48	761,34	+17,5	50	761,09	+14,4	6[illegible]	+18,8	+10,5	Couvert.	N. O.
11	760,73	+15,0	75	760,61	+18,5	60	759,86	+19,3	51	759,37	+13,8	54	+19,3	+10,1	Trouble et nuageux.	N. O.
12	757,78	+18,3	49	757,66	+16,5	54	757,20	+17,3	49	756,42	+13,4	56	+18,3	+9,3	Couvert.	N.
13	757,58	+16,9	53	754,84	+18,3	49	754,17	+19,2	45	753,56	+13,7	66	+19,3	+11,0	Nuageux.	E.
14	752,22	+17,8	56	752,37	+20,0	47	752,04	+20,0	43	752,70	+15,1	64	+20,0	+9,0	Nuageux.	N. O.
15	753,14	+19,4	63	752,83	+21,0	50	751,97	+21,6	50	752,34	+14,5	80	+21,6	+12,6	Couvert.	O.
16	756,07	+17,0	72	757,60	+19,8	57	758,72	+20,5	53	761,48	+15,2	74	+20,5	+13,2	Très nuageux.	N. O.
17	764,56	+22,4	50	764,47	+23,2	44	764,34	+22,3	40	765,10	+18,2	60	+23,3	+8,8	Nuageux.	O. S. O.
18	764,86	+22,9	50	763,89	+24,0	40	762,54	+24,2	40	761,80	+20,8	50	+24,3	+12,2	Petits nuages blancs	E.
19	758,58	+21,4	61	757,60	+25,2	55	756,16	+25,8	45	755,44	+21,0	67	+27,3	+15,9	Légers nuages.	E.
20	757,50	+19,3	66	756,73	+23,8	51	756,71	+24,5	48	754,76	+18,0	71	+24,5	+16,2	Nuageux.	O.
21	755,20	+20,8	61	755,26	+21,8	60	754,20	+23,8	49	754,30	+16,3	81	+23,8	+14,0	Couvert.	O. S. O.
22	752,69	+18,4	79	751,33	+23,1	61	750,16	+23,3	57	749,20	+15,8	89	+23,3	+13,5	Couvert.	S. O.
23	751,30	+19,5	53	751,14	+19,9	49	750,70	+20,9	50	753,37	+13,8	73	+20,9	+13,8	Couvert.	S. O.
24	756,53	+19,1	57	756,25	+22,5	45	755,27	+22,8	39	754,00	+19,2	60	+22,8	+11,1	Nuageux.	S. S. O.
25	754,00	+20,9	63	755,68	+19,5	66	756,81	+22,5	43	758,25	+16,6	69	+22,5	+15,5	Pluie par intervalles	S. O.
26	75[illegible],94	+19,8	51	759,66	+22,3	41	759,83	+21,8	39	760,17	+17,0	77	+22,3	+12,0	Très-nuageux.	O.
27	759,98	+18,0	61	759,47	+21,5	46	759,37	+17,8	66	759,67	+13,0	72	+21,5	+12,8	Nuageux.	O.
28	755,82	+16,5	80	753,65	+16,3	87	751,98	+13,1	86	754,20	+11,8	91	+16,5	+11,4	Pluie continuelle	O.
29	759,75	+17,9	57	759,67	+2[illegible],3	39	75[illegible],40	+20,9	34	759,85	+15,9	61	+20,9	+11,3	Nuageux.	N. O.
30	759,15	+19,5	45	758,75	+21,5	37	753,84	+17,5	62	757,63	+15,7	91	+21,5	+13,4	Couvert.	S. O.
31	759,00	+20,8	75	758,83	+27,0	51	758,60	+29,6	50	758,40	+19,5	70	+27,3	+17,3	Nuageux,	S. O.
1	756,00	+17,3	63	755,98	+19,7	55	755,77	+19,2	53	756,43	+14,6	74	+20,5	+12,1	Moyennes du 1 au 10.	Pluie en centim.
2	758,30	+19,0	59	757,86	+21,0	51	757,37	+21,5	46	757,30	+16,4	64	+21,8	+11,8	Moyenn. du 11 au 20	Terrasse, 5,580
3	756,67	+19,2	62	756,34	+21,4	53	755,93	+20,0	52	756,28	+15,9	70	+22,1	+13,3	Moyenn. du 21 au 31.	Cour, 5,598
	756,98	+18,5	61	[illegible]56,[illegible]1	+20,7	53	756,34	+20,5	50	756,66	+15,6	71	+21,5	+12,4	Moyennes du mois, +17,0.	

Sur *quelques Combinaisons de l'or.*

Par Mr J. Javal.

Les propriétés chimiques de l'or furent successivement l'objet d'un assez grand nombre de recherches; et cependant l'on n'eut, pendant long-temps que des connaissances très-vagues sur les diverses combinaisons de ce métal. Elles se réduisirent à-peu-près à l'inaltérabilité de l'or à l'air et à sa solubilité dans l'eau régale jusqu'à l'époque où plusieurs habiles chimistes en firent l'objet d'un examen particulier. Parmi ces derniers on doit citer M. Vauquelin, qui, dans ses *Expériences sur quelques préparations de l'or* (1), observa, avec la sagacité qui le caractérise, l'action des alcalis sur la dissolution d'or. Le précipité jaune, qui est ordinairement le résultat de cette action, lui parut être de l'oxide d'or à l'état de pureté, ou ne retenant que des atomes d'acide muriatique. Il reconnut, dans la dissolution qui a été précipitée par la potasse, la présence d'une grande quantité d'oxide d'or combiné avec l'acide muriatique et la potasse à l'état de sel triple. Il obtint même des cristaux jaunes qu'il considéra comme une combinaison de muriate d'or et de muriate de potasse. C'est par la formation de sels triples analogues, qu'il rendit raison de la précipitation incomplète de l'oxide d'or par tous les alcalis.

Plusieurs de ces expériences se trouvèrent confirmées

(1) *Annales de Chimie*, t. LXXVII, p. 321.

bientôt après par M. Oberkampf, dans son *Mémoire sur diverses combinaisons de l'or* (1), qui mérita de faire époque dans l'histoire de ce métal. Il résulte des principaux faits contenus dans ce Mémoire, 1° que le précipité noir, obtenu par l'action de l'acide hydro-sulfurique sur le chlorure d'or, est un véritable sulfure de ce métal, et non un simple mélange, comme on l'avait cru auparavant; 2° que ce sulfure, exposé à la chaleur, abandonne :

24,39 de soufre sur 100 part. d'or;

3° que, dans l'action de la potasse sur le chlorure d'or, il faut distinguer le précipité brun-noirâtre de ceux qui sont d'un jaune plus ou moins prononcé : le premier étant de l'oxide d'or pur, et ne pouvant se produire qu'à l'aide d'un grand excès d'alcali, tandis que les derniers contiennent toujours plus ou moins d'acide muriatique, et se forment toutes les fois que l'excès d'alcali n'est point assez considérable pour donner de l'oxide noir; 4° que tous les phénomènes produits par la réaction du chlorure d'or et des alcalis s'expliquent facilement par la propriété qu'a le chlorure d'or de se combiner avec celui de potassium ou de sodium, etc., pour former des composés triples : en effet, si l'on ajoute au chlorure d'or un chlorure alcalin quelconque en quantité suffisante, il cesse aussitôt d'être décomposable par les alcalis; 5° enfin, le même chimiste a cherché à déterminer l'oxidation de l'or en chauffant de l'oxide d'or précipité par la baryte, en mesurant l'oxi-

---

(1) *Annales de Chimie*, tome LXXX, page 140.

gène dégagé, et pesant le résidu qu'il croyait être de l'or pur. Il a trouvé, par ce procédé, que :

100 parties d'or se combinent avec 10,01 d'oxigène;

ce qui coïncide avec un résultat que Bergmann avait obtenu dans le temps. Mais si l'on déduit l'oxidation de l'or de l'analyse du sulfure, on trouve que :

100 part. d'or se combinent avec 12,127 d'oxigène.

Une différence aussi notable aurait probablement excité quelques doutes dans l'esprit de M. Oberkampf, si la théorie des équivalens chimiques avait été plus connue à l'époque où il fit ses expériences.

Ce fut sans doute ce désaccord entre les résultats d'un même chimiste, qui engagea M. Berzelius à s'occuper de la recherche du nombre proportionnel de l'or (1). Il fit dissoudre, à cet effet, un certain poids d'or dans l'eau régale, et évapora le liquide à siccité, jusqu'à ce que le chlore commençât à s'en dégager. La dissolution du chlorure d'or dans l'eau fut ensuite décomposée par le mercure, et l'on évalua avec exactitude la quantité d'or réduit, ainsi que celle du mercure, qui prit sa place. De là on conclut l'oxidation de l'or, en l'appuyant sur celle du mercure supposée parfaitement connue. On voit que ce procédé est plus compliqué que ceux qu'employa M. Oberkampf, en sorte que l'habileté du chimiste dut suppléer, en quelque sorte, à la simplicité de la méthode. M. Berzelius en conclut que :

100 part. d'or se combinent avec 12,077 d'oxigène.

Ce nombre s'accordant avec l'oxidation de l'or, déduite

---

(1) *Annales de Chimie*, tome LXXXVII, page 113.

de l'analyse du sulfure de M. Oberkampf, il a été généralement adopté.

Ces différens travaux paraissaient avoir fixé l'opinion des chimistes sur plusieurs points incertains relatifs à l'histoire de l'or, lorsque M. Pelletier, dans un Mémoire publié récemment (1), a émis sur le même sujet quelques idées nouvelles qui se trouvent en opposition avec celles de ses devanciers. Comme, dans cette alternative, la discussion des phénomènes peut seule faire découvrir la vérité, et que d'ailleurs j'ai eu occasion de vérifier plusieurs des faits contestés, par mes propres expériences, il ne sera point inutile d'entrer dans quelques détails relativement aux résultats nouveaux qu'a présentés M. Pelletier.

Le premier objet que ce chimiste s'attache à démontrer, c'est que le muriate d'or de MM. Berzelius et Oberkampf est un chlorure, et non pas un hydro-chlorate : en effet, il a la propriété de dégager du chlore à la température d'environ 150°, c'est-à-dire, lorsque toute l'eau qu'il a pu contenir est évaporée. Il me semble que ce genre de preuve a l'inconvénient de laisser la question précisément dans son état actuel. D'ailleurs, en admettant que le chlorure d'or n'est point décomposé par sa dissolution dans l'eau, l'auteur n'a fait que partager l'opinion la plus accréditée aujourd'hui, relativement aux chlorures en général.

M. Pelletier s'est aussi occupé, dans son Mémoire, de la détermination du nombre proportionnel de l'or. Il

---

(1) *Annales de Chimie et de Physique*, t. XV, p. 5. Le Mémoire est intitulé : *Faits pour servir à l'histoire de l'or*.

l'a conclu de l'analyse de l'iodure d'or, substance nouvelle que ce chimiste a, le premier, réussi à former, et dont il a cherché la composition en soumettant une certaine quantité de ce corps à l'action de la chaleur, et en pesant le résidu qu'il regarde comme de l'or pur. Il trouve ainsi que :

100 part. d'or prennent 51,515 d'iode;

d'où il conclut que c'est un protiodure analogue au protoxide d'or, et que, par conséquent, le peroxide de ce métal doit être composé de

100 part. d'or, et de 10,0485 d'oxigène.

Comme ce résultat coïncide avec l'un de ceux que M. Oberkampf avait obtenus, M. Pelletier a cru devoir s'y arrêter définitivement. Cependant il semble qu'avant de rejeter le nombre 12,077, qui a été adopté par M. Berzelius, il eût été convenable de vérifier par d'autres moyens l'exactitude du résultat qui devait lui être substitué.

C'est ce que j'ai essayé de faire en reprenant l'analyse de l'oxide d'or. Le procédé que j'ai suivi est le même que celui de M. Oberkampf, modifié seulement de manière à le dépouiller des causes d'erreur qu'il renfermait.

J'ai décomposé le chlorure pur et neutre par un grand excès de baryte. J'ai obtenu un précipité brun-grisâtre, composé d'oxide d'or et de baryte, comme l'observe M. Pelletier. J'ai séparé la baryte par l'acide nitrique, et l'oxide d'or a été lavé à plusieurs reprises. Il ne s'est déposé qu'avec une extrême lenteur, et formait avec l'eau une masse gélatineuse d'un grand volume; ce qui m'a fait penser qu'il était à l'état d'hy-

drate. Je l'ai desséché ensuite autant que possible, en l'exposant à la vapeur de l'eau bouillante, et le tenant éloigné des charbons ardens, parce que je m'étais aperçu que l'oxide d'or est aisément décomposé par l'oxide de carbone. Malgré cette précaution, j'ai voulu me mettre à l'abri de la cause d'erreur qui aurait pu résulter de l'extrême réductibilité de l'or.

A cet effet, j'ai partagé l'oxide desséché en deux portions dont les poids m'étaient connus. L'une a été introduite dans un tube communiquant avec la partie supérieure d'une cloche destinée à recevoir le gaz oxigène. J'ai chauffé l'oxide d'or, jusqu'à ce que le dégagement du gaz cessât d'avoir lieu ; puis j'ai laissé refroidir l'appareil. J'ai mesuré le volume du gaz ; et après avoir fait les corrections relatives à la pression, à la température et à l'humidité, j'en ai conclu son poids, d'après la densité de l'oxigène donnée dernièrement par MM. Berzelius et Dulong. L'or résidu de l'expérience a été traité par l'acide hydro-chlorique, afin d'enlever les traces de baryte qu'il retenait encore

La seconde portion d'oxide d'or a été soumise immédiatement à l'action de l'acide hydro-chlorique. Elle a donné un faible résidu composé d'or métallique et d'une poussière blanche assez légère, qui était probablement du sulfate de baryte provenant d'une très-petite quantité d'acide sulfurique qui aurait été contenue dans l'acide hydro-chlorique employé pour la dissolution de l'or. Ce résidu a été lavé, desséché et pesé. J'ai obtenu ainsi 0g,052 de matière insoluble sur 1g,680 d'oxide d'or. En réduisant proportionnellement le poids de l'or trouvé dans l'expérience précédente, j'ai pu connaître la

quantité de ce métal qui avait été réduite par la seule action du calorique. Cette quantité a été de 3g,516; et en la comparant avec celle du gaz oxigène dégagé, j'ai trouvé que :

100 part. d'or prennent 11,909 d'oxigène (1).

L'accord de ce résultat avec celui de M. Berzelius, et avec l'analyse du sulfure de M. Oberkampf, doit inspirer d'autant plus de confiance, qu'il résulte de trois méthodes entièrement différentes et susceptibles d'une grande exactitude. On doit donc considérer le nombre 12,077 donné par le célèbre chimiste suédois, comme rigoureux, ou comme approchant de très-près de la vérité.

Je dois dire ici que j'ai essayé plusieurs fois de répéter l'analyse du sulfure de M. Oberkampf. Mais quoique j'aie opéré avec un soin extrême, les résultats n'ont point été constans, et la quantité de soufre a varié entre 17 et 23,5 pour 100 part. de métal. Cette perte de soufre ne peut être attribuée à l'action de la chaleur : car j'ai desséché le sulfure dans le vide. Il faut donc que le soufre se soit acidifié par le contact de l'air, comme cela arrive pour le sulfure de platine; ou bien que le sulfure d'or ait été décomposé par l'influence de la lumière, et que le soufre ait été entraîné par les eaux de lavages, qui étaient presque toujours troubles. Quoi

(1) Avant de faire l'expérience telle que je viens de la décrire, je l'avais répétée plusieurs fois sans tenir compte de la petite quantité d'or réduit, ni de la poussière blanche dont je viens de parler. Le *minimum* d'oxigène que j'avais trouvé par ce moyen était de 11,33 : ce qui est encore loin du nombre 10 que voudrait adopter M. Pelletier.

qu'il en soit, il est à remarquer que les quantités de soufre que j'ai obtenues sont nécessairement des *minima* : or, elles ont été, dans plusieurs de mes expériences, au-delà de 20 pour 100, nombre qui devrait exprimer la proportion du soufre, suivant M. Pelletier.

Il est clair, d'après tout ce qu'on vient de voir, que le nombre 10,01, qui se déduit de l'expérience d'oxidation faite par M. Oberkampf, est beaucoup trop faible; et en effet, l'oxide d'or que ce chimiste considérait comme pur, contenait probablement de l'or réduit, et certainement une quantité notable de baryte. Il est donc bien étonnant que M. Pelletier, qui a fait lui-même cette dernière observation, n'en ait pas moins adopté le nombre de M. Oberkampf.

L'idée principale que M. Pelletier paraît avoir voulu développer dans son Mémoire, consiste à regarder l'oxide d'or comme jouant, dans toutes ses combinaisons, le rôle d'un véritable acide. Aussi a-t-il fait un grand nombre d'expériences, dans la vue de constater le peu d'affinité de cet oxide pour les acides saturés d'oxigène; résultat qui était d'ailleurs connu depuis assez long-temps. D'après l'idée qu'il s'était formée de l'oxide d'or, l'auteur a cru devoir aussi révoquer en doute l'existence des sels triples de ce métal, et une grande partie de son Mémoire a été consacrée à cet objet.

Il s'est proposé de démontrer d'abord, que lorsqu'on a précipité la dissolution d'or par un alcali, le liquide ne contient qu'un simple mélange de chlorure de potassium et d'*aurate* de potasse. La principale preuve qu'il en donne, c'est que l'oxide d'or peut se dissoudre

directement dans la potasse, et former un liquide incolore auquel il a donné le nom d'*aurate de potasse.* C'est d'après cela qu'il explique pourquoi la dissolution d'or décomposée par un alcali est entièrement incolore ; pourquoi elle devient jaune lorsqu'on y verse un acide, et se décolore de nouveau par l'addition d'une base. En effet, il suppose que l'*aurate* se trouve tout formé dans le liquide incolore ; qu'il est changé en chlorure d'or au moment où l'on ajoute de l'acide en excès, et qu'il y a reproduction d'*aurate* dès que l'alcali vient à prédominer.

Il me semble que la couleur est un élément beaucoup trop vague pour pouvoir servir de base à une théorie ; et il m'est arrivé très-souvent d'avoir une dissolution d'or d'un jaune foncé qui contenait néanmoins un grand excès de potasse. J'admettrai cependant que la coloration du liquide, ainsi que sa décoloration, ont lieu constamment dans les circonstances que l'auteur indique. Mais comme la dissolution précipitée par la potasse contient à la fois du chlore, de l'oxigène, de l'or et du potassium, je crois qu'avant de décider que l'or et le potassium sont plutôt unis à l'oxigène qu'au chlore, il faudrait quelque expérience directe qui fît voir que ce dernier ordre de combinaison est impossible, ou que l'autre a lieu nécessairement. Or, le contraire se trouve démontré par une expérience de M. Oberkampf, que nous avons citée plus haut, et qui consiste en ce qu'un chlorure alcalin quelconque, ajouté au chlorure d'or en quantité suffisante, s'oppose à sa précipitation ultérieure par les alcalis : phénomène tout-à-fait inexplicable, si l'on n'admet point une certaine affinité entre le chlorure d'or et celui de potassium.

Quant aux cristaux jaunes que l'on obtient par l'évaporation de la dissolution d'or traitée par la potasse, M. Pelletier les considère comme un simple mélange de chlorure de potassium et de chlorure d'or, parce que, dit-il, « on ne découvre, dans l'union de ces chlorures, » aucune propriété dont on ne puisse se rendre raison, » en les supposant simplement mélangés ; » et que « la » cristallisation de ces prétendus sels triples est toujours » celle du chlorure alcalin employé. »

Je n'essaierai point de combattre cette opinion par des raisonnemens ; je me contenterai de lui opposer les faits suivans que j'ai constatés par l'expérience.

En faisant évaporer un mélange de chlorure de potassium et de chlorure d'or, j'ai obtenu des cristaux d'un beau jaune d'or, ayant la forme de prismes quadrangulaires allongés. Ces cristaux ne se décoloraient point par les lavages ; ils jouissaient au contraire de la faculté colorante à un très-haut degré. Après deux jours d'exposition à l'air, ils ont commencé à s'effleurir, et ont pris peu à peu une couleur jaune clair. Exposés à l'action de la chaleur, ils ont d'abord abandonné de l'eau ; bientôt après, ils se sont fondus en un liquide rouge-brun foncé ; et à la température de la fusion du verre, ils ont dégagé une certaine quantité de chlore. Le résidu, traité par l'eau, a donné une dissolution jaune et un dépôt d'or métallique. Le chlorure triple n'avait donc été décomposé qu'en partie.

De toutes les propriétés précédentes, il n'en est aucune qui puisse se concilier avec l'hypothèse d'un simple mélange entre les deux chlorures.

En continuant l'évaporation de la liqueur, j'ai obtenu

un mélange très-distinct des cristaux précédens et de cristaux blancs, cubiques, qui présentaient tous les caractères du chlorure de potassium.

Quoique l'existence des chlorures d'or triples soit suffisamment démontrée par ce qui précède, j'ai été curieux de savoir si le chlorure de potassium et celui d'or s'unissent entre eux dans un rapport simple. J'ai donc fait l'analyse des cristaux jaunes par le procédé suivant :

J'en ai dissous une certaine quantité dans l'eau, et j'y ai fait passer un courant de gaz hydro-sulfurique : il s'est précipité du sulfure d'or qui a été lavé avec soin, desséché et chauffé presque au rouge. Le résidu était de l'or, dont on a déterminé le poids. Le liquide, précipité par le gaz hydro-sulfurique, a été réuni aux eaux de lavages du sulfure et exposé à l'air pendant quelques jours, afin de le débarrasser de l'acide hydro-sulfurique. J'ai pesé tout le liquide, et je l'ai partagé en deux portions, dont les poids m'étaient également connus. L'une a été évaporée à siccité, et l'autre décomposée par le nitrate d'argent : ce qui m'a donné les quantités de chlorure de potassium et de chlore renfermées dans chacune de ces portions, et par conséquent celles qui se trouvaient dans le liquide total. Connaissant les quantités de chlore, de chlorure de potassium et d'or, j'en ai déduit le chlorure d'or et le chlorure de potassium contenus dans les cristaux soumis à l'expérience. La quantité d'eau a été déterminée par la différence des poids. J'ai trouvé, par ce procédé, que 100 parties de chlorure triple cristallisé sont composées de :

Chlorure de potassium ,	24,26 ;
Chlorure d'or ,	68,64 ;
Eau ,	7,10.
	100,00.

Si l'on suppose les cristaux formés de 1 atome de chlorure de potassium , 2 atomes de chlorure d'or , et 2 atomes d'eau , et que l'on exprime le poids de l'atome d'or par le nombre qui se déduit des expériences de M. Berzelius , on trouve que 100 part. de ces cristaux doivent contenir :

Chlorure de potassium ,	25,21 ;
Chlorure d'or ,	68,71 ;
Eau ,	6,08.
	100,00.

On voit qu'il y a eu , dans cette expérience, une perte d'environ 1 p. $\frac{0}{0}$, et que cette perte a dû se reporter sur l'eau. Cela ne paraîtra pas étonnant , lorsqu'on saura que toute l'analyse n'a été faite que sur 1^{g},8 de matière. Cependant elle est assez exacte pour ne laisser aucun doute sur la constitution du *chlorure d'or et de potassium ;* et si l'existence de cette combinaison n'était indiquée d'ailleurs par aucun phénomène particulier , le résultat de l'analyse précédente suffirait tout seul pour en démontrer la réalité.

Sur *quelques Composés de chrôme, et sur plusieurs Combinaisons dans lesquelles un des élémens n'entre que pour une très-petite portion.*

Par M. Grouvelle.

Chromate acide de potasse.

Le chromate acide de potasse est anhydre : on l'a obtenu en traitant le chromate neutre par l'acide nitrique, séparant de la première levée de cristaux tout le nitre formé, et soumettant le chromate à de nouvelles cristallisations.

Calciné fortement, il fond, et passe à l'état de chromate neutre, en abandonnant la moitié de son acide qui se décompose, et laisse un oxide de chrôme cristallisé en paillettes d'un vert magnifique. Le chromate neutre obtenu a été analysé par une solution d'acide sulfureux qui le convertit à l'instant en sulfate de potasse, sulfate et sulfite de chrôme. On a précipité l'oxide métallique par l'ammoniaque, et évaporé le sulfate de potasse. Le sur-chromate contient donc deux fois autant d'acide que le chromate neutre. Sa composition est :

Acide chromique, 2 atomes,	68,846;
Potasse, 1 atome,	31,154.
	100.

Carbonate de chrôme.

M. Vauquelin a obtenu, en versant de l'acide sulfureux et de la potasse dans l'acide chromique, un préci-

pité brun, qu'il pense être un oxide de chrôme plus oxigéné que l'oxide vert. Ce n'est pas un oxide, c'est un carbonate de chrôme. Il se dissout sans effervescence dans les acides étendus. Soumis à l'ébullition dans l'eau distillée, il se décompose, et l'on obtient de l'oxide vert et de l'acide carbonique. En conséquence il faut bien se garder de le laver à l'eau chaude.

On peut se le procurer encore par d'autres moyens. Il suffit, par exemple, de faire passer un courant de deutoxide d'azote et d'air à travers le chromate de potasse, mêlé de carbonate alcalin. Il se précipite du carbonate de chrôme lorsque l'on fait ensuite bouillir la liqueur : si elle contenait trop d'acide nitreux, le tout passerait à l'état de nitrate de chrôme. Ce procédé manque souvent : c'est évidemment l'acide nitreux qui réduit l'acide chromique, et l'oxide formé s'empare de l'acide carbonique chassé du carbonate par l'excès d'acide.

Pour obtenir ce carbonate de chrôme, il vaut mieux évaporer à siccité un mélange de nitrate d'ammoniaque, chromate et carbonate de potasse; ou d'hydro-chlorate d'ammoniaque, nitrate, carbonate, et chromate alcalin. La matière, desséchée à une douce chaleur, noircit : on redissout dans l'eau, et on verse une goutte d'ammoniaque, pour séparer une petite quantité de carbonate de chrôme qu'avait, je crois, rendu soluble le nitrate d'ammoniaque.

Si l'on chauffait trop fortement, l'excès de nitrate reformerait du chromate. Ici c'est le protoxide d'azote à l'état naissant qui décompose l'acide chromique : une fois gazeux, il n'a plus cette propriété.

Si l'on a la précaution de traiter le chromate de potasse par l'acide nitrique, d'acidifier le nitrate d'ammoniaque, de les dessécher et de les chauffer dans un tube à l'abri du contact de l'air, on n'obtient aucune trace de carbonate de chrôme.

Le mélange de nitre et de sel ammoniac agit comme le nitrate d'ammoniaque, parce qu'il s'opère une double décomposition, en vertu de la facilité avec laquelle le nitrate d'ammoniaque se réduit en gaz. Cette double décomposition a toujours lieu lorsque l'on chauffe ensemble le nitrate d'un métal susceptible de former un chlorure fixe avec l'hydro-chlorate d'ammoniaque.

On peut donc, pour obtenir le protoxide d'azote, au lieu de nitrate d'ammoniaque caustique, employer le nitrate de potasse, et l'hydro-chlorate d'ammoniaque, dans les proportions convenables pour une complète décomposition. Ce seraient à-peu-près celles-ci, en laissant un excès de nitre, afin d'éviter toute sublimation de sel ammoniac.

Nitre,	3;
Sel ammoniac,	1.

Des Chromites (1).

L'existence des chromites est encore douteuse, et M. Berzelius n'a pas osé les admettre positivement dans son *Système de minéralogie*. Cependant M. Vauquelin a

(1) Ce Mémoire a été remis au Rédacteur des *Annales de Chimie et de Physique*, long-temps avant que ne parussent les Notes de M. Berthier sur le chrôme.

obtenu, en versant du chromate de potasse dans le proto-sulfate de fer, un précipité qu'il a reconnu pour être formé d'oxide de fer et d'oxide de chrôme. Il a indiqué son analogie avec la mine de chrôme du Var. Cette analogie est complète lorsqu'il est calciné. On peut obtenir d'autres chromites avec les hydro-chlorates de manganèse et d'étain. Celui d'étain est vert, celui de manganèse brun marron. Ils ont tous trois des propriétés à-peu-près semblables.

Ils se dissolvent dans les acides, et en sont précipités sans être décomposés : le chlorate, le nitrate de potasse, les convertissent en chromates alcalins et en oxides métalliques. J'ai tenté plusieurs procédés pour les analyser. Aucun ne m'a donné une séparation complète des deux oxides. Quand on les traite par le chlorate, on observe une combustion semblable à celle que produisent la crême de tartre et le nitre. On obtient du chromate soluble ; mais l'oxide de fer, de manganèse ou d'étain retient encore beaucoup d'oxide de chrôme. L'hydro-chlorate de chrôme rend l'hydro-chlorate de manganèse très-soluble dans l'alcool : les alcalis caustiques n'enlèvent pas tout l'oxide d'étain à l'oxide de chrôme. Ces combinaisons méritent donc d'être étudiées avec soin ; mais je crois leur existence constatée, et la place de la mine de chrôme du Var bien déterminée dans les systèmes minéralogiques.

Du Chromate de plomb.

On sait que l'on peut obtenir un chromate de plomb rougeâtre, en employant le chromate de potasse alcalin. Mais si l'on se sert de sous-acétate de plomb, et de

chromate neutre, bouillant tous deux, il se forme un précipité jaune qui en quelques instans passe à un rouge orangé très-brillant. On peut se procurer une teinte encore plus foncée en faisant bouillir un peu d'alcali avec le chromate rouge, ou même avec le chromate jaune de plomb.

J'ai analysé comparativement le chromate jaune, le rouge, et le plomb rouge de Sibérie. Tous donnent exactement le même rapport entre l'acide et l'oxide. Ce sont des chromates neutres : seulement le chromate rouge contient une petite quantité d'alcali, qui m'a paru être de 1 à 1,5 $\frac{0}{0}$.

Le procédé que j'ai employé pour ces analyses a été de dissoudre le chromate dans l'acide hydro-chlorique, qui, au moyen de l'ébullition, le convertit en hydrochlorate de chrôme; de précipiter le plomb par l'hydrogène sulfuré, et l'oxide de chrôme par l'ammoniaque, et d'évaporer pour obtenir le chlorure de potassium.

Tous les alcalis sont susceptibles de faire passer au rouge le chromate de plomb et aussi celui de bismuth, qui est d'un très-beau jaune. Reste à savoir si l'alcali est combiné à l'acide chromique, à l'oxide de plomb ou au chromate de plomb.

J'ai traité un chromate de plomb et de bismuth très-pur et en excès par une petite quantité d'alcali, à l'aide de la chaleur. Après quelques instans, la liqueur avait cessé complètement de rougir le papier de curcuma, et s'était teinte en jaune. Quelquefois l'alcalinité disparaît sans que la liqueur se colore : c'est qu'alors le chromate contient de l'oxide de plomb libre. Et, en effet, si au chromate on ajoute un peu de litharge en

même temps que l'alcali, il passera au rouge sans perdre d'acide chromique. On peut même obtenir du chromate rouge en soumettant à l'ébullition du chromate de potasse et de la litharge.

Il suit de là que l'alcali paraît être combiné à de l'oxide de plomb, et que cette combinaison, unie au chromate de plomb, donne lieu au chromate rouge, qui contient ainsi un peu plus d'oxide de plomb que le chromate neutre. Quelques gouttes d'acide nitrique étendu lui enlèvent sur-le-champ sa couleur rouge, en dissolvant l'alcali, et un peu d'oxide de plomb. J'ai recherché si le plomb rouge de Sibérie, qui, au reste, est jaune quand on l'a pulvérisé, ne contenait pas d'alcali; j'y ai trouvé, en prenant toutes les précautions possibles, une très-petite quantité de chaux : j'ignore si elle est seulement accidentelle.

En parlant de combinaisons en petite proportion, je crois pouvoir en indiquer ici quelques autres, quoique de nature différente. Faute de les avoir connues, on est plusieurs fois tombé dans des erreurs assez graves.

Combinaison de la magnésie avec les alcalis.

J'ai précipité la magnésie par la soude à l'alcool, lavé le précipité jusqu'à ce que l'eau ne rougisse plus depuis long-temps le papier de curcuma; je l'ai traité alors par l'acide nitrique; j'ai calciné fortement et à plusieurs reprises, puis lavé la magnésie, et obtenu enfin un nitrite qui, avec l'acide sulfurique, a donné des cristaux bien prononcés de sulfate de soude. Avec la potasse, même résultat. Il faut avoir soin de traiter le ni-

trite par l'acide nitrique, attendu qu'étant très-alcalin, il ne fuserait pas sur des charbons ardens.

Si l'on vient à évaporer l'eau de lavage de la magnésie, quand elle cesse d'être alcaline, réduite au quart environ, elle laisse déposer une quantité très-notable de magnésie, et rougit alors le papier de curcuma. Il est probable que l'eau décompose la combinaison neutre formée au moment de la précipitation, en un composé avec excès d'alcali soluble, et un composé avec excès de magnésie insoluble.

Le seul moyen d'évaluer exactement la quantité de magnésie que contient une dissolution est donc de la précipiter par le phosphate d'ammoniaque. La magnésie précipitée par la baryte présente les mêmes phénomènes; mais ils sont plus faciles à constater.

J'ai traité le composé de magnésie et de baryte par une quantité d'acide nitrique insuffisante pour tout dissoudre. Les réactifs ont indiqué de la magnésie et de la baryte dans la partie dissoute et dans la partie non dissoute : ce qui prouve qu'il y a là réellement combinaison; car autrement la baryte se serait unie la première à l'acide.

J'ai fait un essai d'analyse sur la combinaison de la magnésie avec la baryte, en la dissolvant dans l'acide hydro-chlorique, et précipitant la baryte par l'acide sulfurique, et la magnésie par le phosphate d'ammoniaque. Cette analyse, très-inexacte (parce qu'on ignore si, en lavant plus ou moins, on ne décompose pas, ou ne laisse pas impur le précipité), m'a donné environ 4 pour 100 de baryte.

Combinaison de l'oxide de cuivre avec les alcalis.

Je me rappelle avoir entendu dire à M. Berzelius que l'hydrate bleu de cuivre retenait toujours de la potasse, que ne pouvaient lui enlever les lavages. J'ai constaté ce fait au moyen de l'acide nitrique et de la calcination. L'eau ne paraît pas dissoudre cette combinaison, que l'alcool ne décompose pas même à chaud.

L'eau distillée avec laquelle on la fait bouillir ne devient nullement alcaline, et l'oxide, passé au noir, a retenu tout son alcali.

J'ai également analysé la combinaison de l'oxide de cuivre avec la baryte, en dissolvant un poids donné d'oxide de cuivre, le précipitant par la baryte, lavant le précipité, le redissolvant, et séparant la baryte par l'acide sulfurique. J'ai obtenu de 1 à 2 pour 100 d'alcali.

Ce sont réellement des combinaisons, puisque les composés d'oxide de cuivre et de baryte ou de chaux sont restés plusieurs jours sans devenir noirs.

L'hydrate de cobalt, sur lequel on observe le même changement de couleur, est probablement dans le même cas que la magnésie et l'oxide de cuivre.

Note *sur l'Action mécanique des combustibles.*

Par M. Navier.

On a cherché, dans divers écrits, à établir une comparaison entre les actions mécaniques que pouvait produire une même quantité de combustible, quand elle était employée à vaporiser l'eau ou à échauffer l'air atmosphérique. On a avancé que le dernier procédé, abstraction faite des causes de déperdition variables qui se rencontrent dans toutes les machines, pouvait être plus avantageux que le premier. Plusieurs artistes ont tenté d'établir des appareils disposés d'après cette vue.

Il existe, dans les calculs présentés sur la question dont il s'agit, une cause d'erreur qui a été remarquée par MM. Clément et Desormes, dans un Mémoire présenté en 1820 à l'Académie des Sciences, et demeuré manuscrit. Les auteurs de ces calculs n'avaient pas tenu compte de la chaleur que l'air absorbe lorsqu'il se dilate sans changer de température. Le principal objet de cette note est d'examiner de nouveau la question de l'action mécanique produite par l'échauffement de l'air, en ayant égard à la chaleur absorbée par sa dilatation. Cette question ne peut pas être résolue présentement (eu égard au peu de précision et d'étendue des expériences connues) avec toute l'exactitude qui serait à desirer; mais une solution approchée suffit pour fixer les idées des artistes, et prévenir par la suite des essais infructueux. Cette solution exige l'emploi de divers résultats exposés en détail dans le *Bulletin de la Société Philomatique*, pour le

mois de juillet 1820, et qu'on va d'abord rappeler succinctement (1).

1. Si l'on prend pour unité la chaleur spécifique (rapportée au poids) de l'air atmosphérique à une température moyenne de 10°, sous la pression $0^m,76$, et que l'on suppose le volume de cet air changé de manière que la pression soit devenue h, la chaleur spécifique sera devenue

$$0,76\sqrt{\frac{1}{h}+0,42},$$

résultat qu'il faut considérer comme une expression empirique qui s'accorde à-peu-près avec les expériences. En nommant ω le volume primitif de l'air, et o son nouveau volume, on a

$$\frac{0,76}{h}=\frac{o}{\omega},$$

et par conséquent la formule précédente devient

$$\sqrt{0,76\frac{o}{\omega}+0,24}.$$

Si l'on prend pour unité la chaleur spécifique de l'eau à l'état liquide, dont celle de l'air est seulement les 0,26 environ, cette formule se change en

$$0,26\sqrt{0,76\frac{o}{\omega}+0,24}.$$

Dans la suite de cette note, on prendra pour unité des quantités de chaleur, celle nécessaire pour élever de 1° la

---

(1) Voyez plus loin la note en question.

température de un kilogramme d'eau à l'état liquide ; et on nommera cette unité *degré de chaleur*. L'expression précédente représente le nombre de degrés de chaleur nécessaire pour élever de 1° la température de 1 k. d'air dont le volume, qui était ω à la température o sous la pression $0^m,76$, est devenu o.

2. Si l'on fait ainsi varier le volume de l'air atmosphérique, les quantités de chaleur qu'il absorbe ou dégage sont proportionnelles à la variation de sa chaleur spécifique. En sorte que, nommant C la chaleur spécifique primitive, c la chaleur spécifique après le changement de volume, on a, pour la quantité de chaleur absorbée :

$$\alpha. \, (c - C),$$

α étant un coefficient constant, dont la valeur en nombres ronds peut être portée à 1200°.

3. On peut, au moyen de ces résultats, traiter la question dont il s'agit, et établir une relation entre la quantité d'action qu'il est possible d'obtenir en échauffant et dilatant de l'air, et la quantité de chaleur que l'on consommera. Supposons qu'une certaine quantité d'air atmosphérique est introduite dans une capacité ; qu'il y est échauffé ; qu'ayant acquis par l'échauffement une augmentation de force élastique et de volume, on le laisse dilater librement, sa température demeurant constante. Nommons :

ν la température extérieure ;

V la température à laquelle on élève l'air ;

H la force élastique qu'on lui fait prendre ;

H' la force élastique qu'il conserve après sa dilatation ;

o le volume primitif de l'air ;

O le volume qu'on lui fait prendre sous la température V et la pression H ;

π le poids du mètre cube de mercure $= 13568$ k. ;

Π le poids de l'air sur lequel on agit.

Le poids du mètre cube d'air, à la température 0°, sous la pression $0^m,76$, étant $1^k,3$ à très-peu près, le volume du poids Π d'air, à la même température et sous la même pression, sera

$$\frac{\Pi}{1,3}.$$

L'air étant pris à la température v, on a donc

$$o = \frac{\Pi}{1,3}(1 + 0,00375 . v).$$

Le même poids d'air étant porté à la température V sous la pression H, aura acquis le volume

$$O = o . \frac{1 + 0,00375 . V}{1 + 0,00375 . v} . \frac{0,76}{H}.$$

Pendant son échauffement, l'air peut être censé contenu dans un tuyau dont la section transversale est égale à l'unité superficielle, et dont une des extrémités est fermée par un piston mobile. Ce piston supporte extérieurement la pression atmosphérique $0^m,76$, et intérieurement la pression H. Il est donc chassé pendant la dilatation de l'air avec une force égale à la différence de ces deux pressions ; et comme cette dilatation lui fait parcourir un espace égal à $O - o$, on voit qu'il en résulte une quantité d'action exprimée par

$$\pi (H - 0,76)(O - o).$$

Le volume de l'air étant actuellement O, sa force élastique H, et sa température V, si, la température demeurant constante, on laisse l'air se dilater librement jusqu'à ce qu'il soit revenu à une force élastique H' (qui ne pourra être moindre que la pression atmosphérique $0^{m},76$), le mouvement du piston produira une nouvelle quantité d'action exprimée par

$$\pi H.O \log \frac{H}{H'} - \pi.0,76.O\left(\frac{H}{H'} - 1\right).$$

Ajoutant ces deux quantités, on a, pour la quantité d'action totale obtenue :

$$\pi H.O\left(\log \frac{H}{H'} + 1 - \frac{0,76}{H'}\right) - \pi.o(H - 0,76);$$

ou, en mettant pour O sa valeur,

$$\pi\, o.0,76 \frac{1 + 0,00375.V}{1 + 0,00375.v}\left(\log \frac{H}{H'} + 1 - \frac{0,76}{H'}\right) - \pi\, o(H - 0,76).$$

On ne devra point oublier, en employant cette formule, que le logarithme est hyperbolique, et doit être multiplié par 2,302585 si on le prend dans les tables ordinaires.

4. A l'égard de la quantité de chaleur consommée, on l'obtiendra en ajoutant la chaleur nécessaire pour élever l'air à la température V, qui est

$$0,26\,\Pi\,(V - v),$$

à celle absorbée quand l'air passe du volume primitif o au volume qu'il conserve sous la température V et la pression H'. Ce dernier volume est

$$O\frac{H}{H'}.$$

Par conséquent la chaleur spécifique primitive 0,26.Π de l'air est devenue (n° 1)

$$0,26.\Pi\sqrt{0,76\,\frac{O\,H}{o\,H'}+0,24}.$$

La quantité de chaleur absorbée par l'effet de la dilatation étant (n° 2) le produit de 1200° par la différence des capacités qui ont lieu avant et après la dilatation, on a, en mettant pour O et Π leurs valeurs,

$$\frac{0,26.1,3.o}{1+0,00375.v}\left\{V-v+1200°\left(\sqrt{0,76\,\frac{1+0,00375.V}{1+0,00375.v}\,\frac{0,76}{H'}+0,24}-1\right)\right\}$$

pour l'expression du nombre de degrés de chaleur qu'il faudra fournir à l'air afin d'obtenir la quantité d'action énoncée dans le n° précédent.

5. La quantité de chaleur à fournir dépend seulement de la température V, et de la force élastique H' que l'air conserve après sa dilatation. Il y a, pour chaque température V à laquelle on élèvera l'air, une force élastique H qui rendra l'expression de la quantité d'action (n° 3) la plus grande possible, et qu'il faut d'abord déterminer. En différentiant cette expression par rapport à H, et égalant à zéro, on trouve

$$H=0,76\,\frac{1+0,00375.V}{1+0,00375.v}.$$

Cette valeur étant précisément la force élastique que prendrait l'air si, sans changer son volume, on le portait de la température v à celle V, on voit qu'il faut supposer $O=o$, c'est-à-dire qu'il ne faut point dilater l'air pendant qu'on l'échauffe, et qu'il ne faut laisser le volume augmenter qu'après qu'on aura porté cet air à la

température V qu'on veut lui faire acquérir. C'est d'après cette considération que nous supposerons H déterminée dans la formule du n° 3.

Cette formule aurait d'ailleurs sa plus grande valeur, si l'on supposait $H'=0^m,76$, ou si on laissait l'air se dilater pendant qu'il conserve la température V jusqu'à ce que sa force élastique fût devenue égale à la pression atmosphérique. Mais comme la dépense de chaleur croît à mesure que H' diminue, il y a une valeur de H' plus grande que $0^m,76$, qui rendra la quantité d'action obtenue la plus grande possible, par rapport à la chaleur dépensée, et qui doit être adoptée.

6. La quantité d'action obtenue et la dépense de chaleur augmentent toutes deux avec V; mais la première croissant plus rapidement que la seconde, il y a de l'avantage à porter l'air à la plus haute température qu'il est possible. Pour se former l'idée du rapport qui peut exister, dans les machines où l'on emploierait l'air échauffé, entre le *maximum* de quantité d'action qu'il est possible d'obtenir, et le *minimum* de chaleur consommée, il faut prendre pour V la plus haute température à laquelle on puisse maintenir les appareils sans les altérer. Nous supposerons $v=10^o$, $V=500^o$: la valeur de H, déterminée d'après le n° précédent, sera $H=2^m,106$. Quant à celle de H', on s'éloignera peu de la valeur qui convient le mieux à cette quantité, en supposant $H'=1^m$. D'après ces valeurs, la formule du n° 3 donnera pour le *maximum* de quantité d'action qu'il est possible d'obtenir,

$$9878.0 \text{ kilogrammes} \times \text{mètres};$$

et la formule du n° 4 donnera, pour le *minimum* de la dépense correspondante de chaleur

$$299.0 \text{ degrés}.$$

Le rapport de ces deux quantités est 33. Ainsi, en dépensant un degré de chaleur pour échauffer de l'air, on ne peut obtenir une quantité d'action qui surpasse l'élévation d'un poids de 33 kil. à un mètre de hauteur, en regardant toutefois 500° comme la plus haute température à laquelle l'air puisse être porté.

7. Pour apprécier maintenant le résultat auquel on vient de parvenir, il faut aussi connaître le rapport du *maximum* de quantité d'action obtenue au *minimum* de chaleur dépensée, lorsque cette chaleur est employée à vaporiser l'eau. Supposons l'eau introduite dans une capacité vide d'air, et occupée par de la vapeur aqueuse à une tension donnée; que cette eau est vaporisée, et qu'ensuite on laisse la vapeur se dilater librement. Nommons :

v la température extérieure, à laquelle on prend l'eau de condensation;

V la température à laquelle on forme la vapeur;

V' la température qui a lieu dans la capacité, et à laquelle on condense la vapeur;

H la force élastique de la vapeur correspondante à la température V;

H' la force élastique de la vapeur correspondante à la température V';

Π le poids de l'eau sur lequel on agit;

O le volume que prend cette eau vaporisée à la température V sous la pression H;

π le poids du mètre cube de mercure $= 13568^{k}$.

Le poids du mètre cube de vapeur à la température 100° sous la pression $0^{m},76$ étant $0^{k},59$, le volume du poids Π d'eau vaporisé sous cette pression est

$$\frac{\Pi}{0,59}.$$

On a donc :

$$O = \frac{\Pi}{0,59} \cdot \frac{1 + 0,00375 \,.\, V}{1,375} \cdot \frac{0,76}{H}.$$

Les quantités H et V, H' et V' ont d'ailleurs entre elles des relations que l'expérience a fait connaître.

Cela posé, le changement de l'eau en vapeur (en négligeant le volume occupé par l'eau à l'état liquide) donnera d'abord une quantité d'action exprimée par

$$\pi\,(H - H').\,O.$$

L'expansion de la vapeur, que l'on suppose maintenue à la température V, et qui passe de la force élastique H à celle H', produit une nouvelle quantité d'action égale à

$$\pi H.O \log \frac{H}{H'} - \pi\,(H - H').\,O.$$

Ajoutant ces deux résultats, il vient, pour le *maximum* de la quantité d'action qu'il est possible d'obtenir,

$$\pi H \,.\, O \log \frac{H}{H'},$$

ou en mettant pour O sa valeur

$$\pi \cdot 0,76 \,.\, \frac{\Pi}{0,59} \cdot \frac{1 + 0,00375 \,.\, V}{1,375} \cdot \log \frac{H}{H'}.$$

8. Quant à la quantité de chaleur consommée, soit pour produire la vapeur sous la pression H, soit par l'effet de la dilatation de cette vapeur quand elle passe de la force élastique H à celle H', il reste encore de l'in-

certitude sur son évaluation. Quelques physiciens considèrent la chaleur latente de la vapeur comme variable, et décroissant, à mesure qu'on la forme à des températures plus élevées, de quantités précisément égales aux différences de ces températures ; en sorte que, à quelque température que la vapeur fût formée, elle contiendrait toujours la même quantité de chaleur. D'autres considèrent au contraire la chaleur latente, que Watt a trouvée de 530°, quand la vapeur se forme à la température 100° sous la pression $0^{m},76$, comme étant constamment égale à ce nombre, quelles que soient les température et pression sous lesquelles la vapeur est formée. La différence de ces hypothèses n'est pas fort importante dans la question dont il s'agit. On admettra la dernière, qui, d'après les expériences, paraît plus voisine de la vérité ; et comme elle paraît indiquer que la vapeur n'absorbe point de chaleur en se dilatant, on prendra simplement

$$\Pi\,(530^{o} + V - V')$$

pour l'expression de la quantité de chaleur qui passera dans l'eau de condensation, quantité qui doit être considérée comme le *minimum* de la dépense de la source.

9. Le poids de l'eau de condensation nécessaire pour abaisser la température de la vapeur au degré V' sera :

$$\Pi\,\frac{530 + V - V'}{V' - v}.$$

10. Les expressions auxquelles on est parvenu dans les nos 7 et 8 indiquent qu'il y a de l'avantage à produire la vapeur à la température la plus élevée qu'il est possible. Quant à la température V' de la condensation, elle

doit nécessairement surpasser la température extérieure v. De plus, sa détermination dépend de la facilité avec laquelle on se procure l'eau de condensation ; car plus V' sera basse, et plus la quantité d'eau de condensation sera considérable. Mais pour ne point introduire ici d'élément variable et arbitraire, on considérera V' comme devant être déterminé seulement par la condition de rendre la quantité d'action produite la plus grande possible par rapport à la dépense de chaleur.

Pour apprécier d'ailleurs le rapport de ces deux quantités, on supposera la vapeur produite sous la pression de 5 atmosphères, c'est-à-dire, $H=3^m,8$ et $V=165°$. La valeur qui, dans cette supposition, conviendrait le mieux à V' serait, comme on peut s'en assurer par le calcul, plus petite que 10°, valeur que l'on adoptera pour la température extérieure v. On supposera donc $V'=10°$, et par conséquent $H'=0^m,0095$. La formule du n° 7 donnera alors pour le *maximum* de la quantité d'action qu'il est possible d'obtenir,

$$123300.\Pi \text{ kilogrammes} \times \text{mètres} ;$$

et la formule du n° 8 donnera, pour le *minimum* de la dépense de chaleur correspondante,

$$685. \text{ d egrés.}$$

Le rapport de ces deux nombres étant 180, on voit qu'en dépensant un degré de chaleur pour produire de la vapeur aqueuse, la limite de la quantité d'action qu'il est possible d'obtenir est l'élévation à un mètre de hauteur d'un poids de 180 kilog., la vapeur étant supposée produite sous la pression de 5 atmosphères.

11. D'après ces résultats, les limites théoriques des quantités d'action qu'il est possible d'obtenir en échauffant l'air ou l'eau, sont à-peu-près entre elles dans le rapport de 33 à 180, ou de 1 à 5,5. La différence est si considérable, que, malgré l'incertitude que peuvent présenter les évaluations numériques précédentes, la préférence à donner à la vapeur ne paraît nullement douteuse.

Il faut observer toutefois que les valeurs auxquelles on vient de parvenir dépendent de la supposition que l'air est échauffé à 500°, et la vapeur produite à 165°. On parviendra vraisemblablement à produire avec sécurité la vapeur à des températures encore plus élevées, ce qui fera croître rapidement l'avantage qu'elle présente. Il paraît difficile d'échauffer l'air fort au-delà de 500°, si la nature de l'appareil exige que les parois des capacités soient maintenues à la température à laquelle l'air est porté. Mais si l'échauffement de l'air, comme dans la machine de MM. Niepce, est produit par la combustion instantanée d'une matière pulvérulente, en sorte que cet air acquière momentanément une température très-élevée sans que les parois s'échauffent sensiblement, on peut concevoir la limite fixée à 500° reculée plus loin. En supposant l'air échauffé à 2000°, en sorte qu'il acquerrait une force élastique un peu plus grande que 8 atmosphères, on trouve, par les formules des n°s 3 et 4, qu'un degré de chaleur produirait alors une quantité d'action d'environ 44.k × m. Cette limite étant encore très-inférieure à celle qui convient à la vapeur, il ne paraît pas que l'on puisse jamais espérer d'établir des machines à air échauffé qui sou-

tiennent la comparaison avec les machines à vapeur. Cette conclusion paraîtra d'autant mieux fondée, qu'il est aisé de prévoir que les difficultés d'exécution, et les déchets inévitables dans tous les appareils, doivent être plus grands encore en employant l'air qu'en se servant de la vapeur aqueuse.

12. Les machines à vapeur offrent toutefois un déchet très-considérable sur le *maximum* théorique, calculé dans le n° 10. En effet, il paraît que, dans les meilleures machines, de la force moyenne de dix chevaux, on brûle $2^k,5$ de charbon pour obtenir une quantité d'action égale à 288000 k $\times$ m. En admettant qu'un kilog. de charbon brûlé dans le calorimètre donne 7000° de chaleur, on voit que l'on n'obtient, pour un degré de chaleur, qu'une quantité d'action

$$=\frac{288000}{2,5 \, . \, 7000}=16,5 \text{ kil.} \times \text{mèt.};$$

ce qui est bien éloigné de la limite 180 k $\times$ m, trouvée ci-dessus. Il serait utile de rechercher et d'apprécier avec exactitude les causes de cette perte considérable.

On observera d'abord que, dans les machines dont il s'agit, la vapeur n'est ordinairement produite que sous une pression de 4 atmosphères, et qu'elle est condensée à 40°, quand la dilatation a seulement réduit sa force élastique à une atmosphère environ. Pour adapter à ce cas les formules des n°s 7 et 8, il faut supposer :

$$V=153^\circ, \frac{H}{H'}=4, V'=40^\circ.$$

On trouve alors, pour la limite théorique de la quantité d'action obtenue, 27740 k $\times$ m, et pour le *minimum* de chaleur dépensée 643° ; ce qui revient à 44,1 k $\times$ m par

degré de chaleur, au lieu des 180 k $\times$ m, obtenus en supposant la vapeur aqueuse produite sous 5 atmosphères, et qu'on la laisse dilater jusqu'à ce que sa force élastique soit devenue égale à celle qui répond à la température extérieure. Ce nombre est toutefois presque triple de celui qui représente la quantité d'action réellement produite.

Une des principales causes de la différence de ces deux nombres est la perte de chaleur qui a lieu dans le foyer. Il paraît que les meilleures chaudières ne transmettent que les $\frac{2}{3}$ environ de la chaleur que donnerait le charbon brûlé dans le calorimètre. On peut considérer cette évaluation comme tenant compte des pertes de chaleur qui ont lieu à la surface des appareils, et dont l'effet est en général peu sensible. Le nombre 44,1 se trouve réduit par cette circonstance à 29,4.

La seconde cause est le frottement du piston dans le cylindre à vapeur. Langsdorff, auteur allemand, établit, comme règle-pratique, que, nommant r le rayon d'un piston, et H la hauteur de la colonne d'eau produisant la pression, la résistance provenant du frottement est exprimée par $300.\,rH$. C'est le seul résultat de ce genre que l'on sache avoir été publié. Si les pressions sont exprimées en hauteurs d'une colonne de mercure, cette formule deviendra $13{,}568.\,300.rH = 4070.\,rH$. L'aire du piston étant πr^2, on voit que la résistance dont il s'agit équivaut pour une unité superficielle à

$$\frac{4070.H}{\pi.r}.$$

Par conséquent, la force avec laquelle la vapeur pousse le piston étant, pour l'unité superficielle, égale à

13568. H, elle se trouve réduite, par l'effet du frottement, à

$$\left(13568 - \frac{4070}{\pi . r}\right) H.$$

Ainsi, la quantité d'action produite par la vapeur se trouve diminuée dans le rapport de 1 à

$$1 - \frac{4070}{13568 . \pi r} .$$

On voit que la diminution est d'autant plus grande que le rayon du cylindre est plus petit, ce qui est une des causes de l'infériorité reconnue des petites machines sur les grandes. Si l'on attribue à r la valeur moyenne $0^{m},25$, le rapport précédent devient celui de 1 à 0,62. Ainsi, le nombre 29,4, trouvé ci-dessus, se trouverait réduit moyennement, par l'effet du frottement, à 18,2.

Ce dernier résultat surpasse assez peu les 16,5 k × m, que l'on obtient effectivement. Le reste de la différence peut être attribué au jeu des pompes qui fournissent et expulsent l'eau de condensation, au jeu des soupapes, et à l'effet des pertes de force vive qui ont lieu au passage de la vapeur dans les robinets et soupapes.

Il est à présumer que la résistance provenant du frottement du piston est ici portée au-delà de sa véritable valeur, surtout pour les pistons perfectionnés des machines de Woolf Alors il faudra attribuer plus d'influence aux dernières causes de déchet dont il vient d'être question. Quoi qu'il en soit, on peut juger par cette analyse que la grande perte éprouvée dans la pratique sur la quantité d'action que l'on pourrait obtenir, provient principalement de ce qu'on ne produit pas la

vapeur à une température assez élevée, et surtout de ce qu'on ne la laisse pas se dilater jusqu'à ce que sa force élastique soit réduite à celle qui répond à la température de la condensation. Si la vapeur, produite sous la pression de 5 atmosphères, se dilatait jusqu'à ce que sa force élastique fût réduite à $0^m,053$, qui répond à la température de 40°, la formule du n° 7 donnerait pour l'expression du *maximum* de quantité d'action 87870 k × m. Le *maximum* correspondant à un degré de chaleur serait

$$\frac{87870}{655} = 134,2 \text{ k} \times \text{m}.$$

En prenant les $\frac{2}{3}$ de ce nombre, puis les 0,62 pour avoir égard aux pertes de chaleur, et à l'effet du frottement du piston, on trouve 55,5. Il paraît donc qu'en changeant seulement la manière de gouverner les machines, on pourrait obtenir environ 50 k × m, au lieu de 16,5 que l'on obtient actuellement. Ces résultats, quoiqu'ils ne puissent être considérés que comme approchés, paraissent néanmoins mériter l'attention des artistes. Il paraît facile d'augmenter le produit des machines à vapeur, et l'économie qu'elles procurent, dans une proportion bien plus grande qu'on ne peut espérer de le faire pour toute autre espèce de machines.

Sur *la Variation de température qui accompagne les changemens de volume des gaz.*

Par M. Navier.

Concevons un gaz contenu dans un vase. L'expérience apprend que si l'on fait varier le volume, 1° la chaleur

spécifique du gaz augmentera ou diminuera avec le volume; 2° la température s'élèvera si le volume diminue, et s'abaissera si le volume augmente. On se propose de rechercher, autant que les faits connus peuvent le permettre, la loi de ce phénomène.

Nommons

H la pression que supporte le gaz, à un instant donné, exprimée par la hauteur d'une colonne de mercure, en mètres.

C sa chaleur spécifique au même instant, rapportée au poids.

V la température comptée du o du thermomètre centigrade.

h, c, v les valeurs variables qu'on peut faire prendre simultanément aux mêmes quantités, en changeant le volume du vase.

La chaleur spécifique c est une fonction de h et de v. La nature de cette fonction est presque entièrement inconnue. On considère ordinairement c comme ne variant point avec v, ce qui peut être suffisamment exact dans l'étendue des changemens de température que nous observons. Sans rien prononcer sur la nature de la relation qui lie ces deux quantités, on a évidemment $c.dv$ pour exprimer la quantité de chaleur qui, sous la pression h, élèvera la température du gaz de dv. La quantité totale de chaleur contenue dans le gaz, à la température v, et sous la pression h, sera donc

$$\int_{-\infty}^{v} dv.\ c.$$

Si maintenant on fait varier infiniment peu le volume du gaz, et la pression h, la température deviendra $v + dv$, et la chaleur spécifique

$$c - \frac{dc}{dh} dh.$$

La quantité totale de chaleur contenue dans le gaz sera alors

$$\int_{-\infty}^{v} dv \left(c - \frac{dc}{dh} dh \right);$$

en sorte que le gaz aura perdu la quantité de chaleur

$$\int_{-\infty}^{v} dv. \frac{dc}{dh} dh.$$

Cette quantité, les parois du vase étant supposées imperméables à la chaleur, a été employée à élever la température du gaz de dv. On a donc la relation

$$c\,dv = -\int_{-\infty}^{v} dv \frac{dc}{dh} dh.$$

La nature de l'expression de c, et par conséquent de

$$\frac{dc}{dh},$$

en v, étant inconnue, on ne peut tirer parti de cette relation sans faire une hypothèse. La plus simple, qui paraît aussi assez plausible, consiste à admettre que, quand le volume d'un gaz varie, sa chaleur spécifique varie dans une même proportion pour toutes les températures. Cette hypothèse comprend celle où la chaleur

spécifique serait considérée comme constante, et celle où elle serait considérée comme diminuant uniformément à mesure que la température s'abaisse. Il ne paraît pas qu'elle puisse s'écarter sensiblement de la vérité. En l'admettant, la quantité

$$\int_{-\infty}^{v} dv.\ \frac{dc}{dh}\, dh$$

devra être considérée comme proportionnelle à

$$\frac{dc}{dh}\, dh\,;$$

en sorte qu'on aura :

$$c\,dv = -\alpha.\ \frac{dc}{dh}\, dh\,,$$

α étant un coefficient constant spécifique. On peut remarquer que le changement qui s'opère dans un gaz quand le volume varie, est analogue aux changemens d'état des corps, en ce qu'il y a dans chaque cas absorption ou dégagement de chaleur. Le coefficient α mesure une qualité spécifique analogue à ce qu'on nomme ordinairement la chaleur latente, et qui se manifeste spécialement dans les fluides élastiques.

L'équation précédente donne

$$dv = -\alpha.\ \frac{dc}{c},\ \text{d'où}\ v - V = -\alpha \log. \frac{c}{C}, \quad (1)$$

expression au moyen de laquelle, connaissant les chaleurs spécifiques d'une même masse de gaz sous deux volumes différens, on pourra calculer la variation de température qui aura lieu lors du passage instantané d'un volume à l'autre.

Les expériences connues ne suffisent pas pour nous apprendre avec exactitude quelle chaleur spécifique peut prendre une masse donnée d'un gaz, sous un volume donné. Pour obtenir toutefois quelques aperçus, on observera que les expériences de MM. Clément et Desormes, Delaroche et Bérard, offrent pour l'air atmosphérique les résultats suivans :

Pressions. $= h$.	Chaleurs spécifiques correspondantes d'un volume d'air. $= \gamma$.	
	Expérience.	Formule.
m 0,352	0,679	0,635
0,510	0,802	0,786
0,663	0,848	0,834
0,76	1,	1,
1,006	1,22	1,196

En cherchant à lier ces résultats par une formule empirique, il paraît que, vu le peu d'étendue des observations et les erreurs dont elles sont susceptibles, il est moins important de les représenter avec une très-grande exactitude, que d'adopter une expression qui convienne à la nature du phénomène. D'après les notions admises par le plus grand nombre de physiciens, l'expression de γ en h devra donner $\gamma = 0$ quand $h = 0$; elle ne devra point devenir négative ni imaginaire, quelque grande que soit h. On supposera donc

$$\gamma = \sqrt{h + 0{,}42 . h^2},$$

formule qui satisfait à-peu-près aux observations, comme on le voit dans le tableau précédent. La chaleur spécifique de l'air atmosphérique sous la pression $0^m,76$ est prise pour unité.

L'expression précédente convient à la chaleur spécifique rapportée au volume. Si on veut la rapporter au poids, comme, à poids égal, le volume varie réciproquement à la pression, il faudra multiplier par le rapport

$$\frac{0,76}{h}.$$

On aura donc

$$c = 0,76\sqrt{\frac{1}{h} + 0,42},$$

où la chaleur spécifique de la masse d'air sous la pression $0^m,76$ est toujours prise pour unité. Mettant cette valeur dans l'équation (1), il viendra

$$v - V = -\alpha.\log.\frac{\sqrt{\frac{1}{h} + 0,42}}{\sqrt{\frac{1}{H} + 0,42}};$$

et si l'on admet que la pression primitive H soit la pression atmosphérique, ou si l'on fait $H = 0^m,76$, on aura simplement

$$v - V = -\alpha\left\{\log.0,76 + \frac{1}{2}\log.\left(\frac{1}{h} + 0,42\right)\right\},$$

où il ne reste plus qu'à déterminer le coefficient α. On admettra pour cette détermination, comme un fait qui paraît résulter de diverses expériences et rapprochemens,

qu'en comprimant l'air de $\frac{1}{116}$ de son volume, on élève la température, abstraction faite de toute déperdition extérieure, de 1 degré. On trouve alors $\alpha = 1171°$, et

$$v - V = 140° - 585°. \log. \left(\frac{1}{h} + 0,42 \right).$$

Cette formule servira à calculer (avec le degré d'exactitude que comportent les déterminations numériques précédentes) l'élévation ou l'abaissement de température qui pourrait survenir dans une masse d'air, si on la comprimait ou dilatait, de manière à la faire passer de la pression $0^m,76$ à une autre pression h. Si, par exemple, on réduisait le volume de l'air à $\frac{1}{5}$, en sorte que la pression serait $3^m,8 = h$, on pourrait obtenir, d'après la formule, une élévation de température d'environ 237°.

Il paraîtrait d'ailleurs, par ce qui précède, que l'élévation de température obtenue en comprimant l'air atmosphérique est susceptible d'une limite assez peu éloignée. En faisant $h = \infty$, la formule donne en effet $v - V = 360°$, d'où l'on conclurait qu'on peut tout au plus faire monter le thermomètre de cette quantité. On ne donne point d'ailleurs, à beaucoup près, ce dernier nombre comme exact; sa détermination suppose une connaissance parfaite de la relation des deux quantités représentées ci-dessus par γ et par h, et il serait très-possible que le nombre précédent s'écartât sensiblement de la vérité. Quant au froid produit par la dilatation, la formule ne lui assigne aucune limite.

Les résultats auxquels on vient de parvenir s'éloignent, à quelques égards, des notions présentées par un célèbre physicien, qui a considéré la compression de l'air

atmosphérique comme pouvant produire des élévations de température beaucoup plus grandes que les précédentes, et même sans limites. Tout dépend ici de la manière dont la chaleur spécifique de l'air, à poids égal, varie avec le volume. Si cette chaleur spécifique décroît aussi rapidement ou plus rapidement que le volume, l'assertion dont on vient de parler sera fondée; et toutefois, par la nature du phénomène, on arrivera bientôt, en comprimant l'air, à un terme qu'on ne pourrait plus dépasser sans produire des pressions excessives. Si, au contraire, la chaleur spécifique décroît moins rapidement que le volume, comme les expériences paraissent l'indiquer, et comme cela paraît même nécessaire, l'élévation de température obtenue par la compression aura une limite.

On remarquera d'ailleurs qu'au moyen de la relation établie par l'équation (1), des expériences faites sur les variations de température produites par les compressions et dilatations des gaz, semblent offrir un procédé assez simple pour connaître leur chaleur spécifique sous différentes pressions. Ce procédé suppose toutefois l'observation exacte de ces variations de température, et l'appréciation de la déperdition de chaleur qui s'opère par les parois des vases.

Analyse *comparée des excrémens d'un rossignol, et du cœur de bœuf dont il a été nourri.*

Purification de l'acide urique.

Par Mr Henri Braconnot.

J'ai recueilli pendant l'hiver dernier les excrémens d'un rossignol. Mon seul but était d'en extraire l'acide urique qu'ils contenaient très-abondamment ; mais ensuite j'ai entrepris de comparer les principes constituans de ces matières avec ceux du cœur de bœuf dont l'oiseau avait été nourri.

36 grammes de ces excrémens desséchés ont été mis en macération pendant quelques heures dans une certaine quantité d'eau. Il en est résulté un liquide laiteux qui a laissé déposer, au bout de quarante-huit heures, un dépôt blanchâtre très-divisé. Ce dépôt, séparé de la liqueur surnageante qui était d'une couleur brune, ayant été bien lavé sur un linge, et mis à digérer avec l'acide hydro-chlorique, a laissé une poudre insoluble, laquelle, desséchée, était d'une couleur fauve et pesait 16 gramm. : c'était de l'acide urique. La liqueur acide hydro-chlorique, évaporée juqu'à siccité, a laissé un résidu salin du poids de 3g,5. Ce résidu, chauffé au rouge dans un appareil convenable, a fourni 1g,35 d'hydro-chlorate d'ammoniaque sublimé, et un résidu fixe, lequel lavé avec de l'eau, s'y est dissous en partie, à l'exception de 1g,5 de phosphate de chaux d'une couleur rosée due à la présence du fer. Les eaux de lavages ont fourni, par l'évaporation, des cristaux cubiques légèrement opaques,

reconnaissables pour du muriate de potasse. Chauffés au rouge avec de l'acide sulfurique, ils ont laissé du sulfate de potasse, sans le moindre indice de sulfate de soude. Le dépôt blanchâtre, séparé par l'eau des excrémens du rossignol, était donc du sur-urate d'ammoniaque et de potasse, mélangé à du phosphate de chaux ferrugineux.

La liqueur aqueuse, brune, chargée des parties solubles, rougissait le papier teint en bleu par le tournesol. Evaporée, elle a fourni un résidu épais du poids de 17 gramm. : il avait l'aspect et l'odeur d'un extrait de plante; sa saveur était amère, piquante et salée. Traitée à l'aide de la chaleur par l'alcool à 34°, la majeure partie de cet extrait a refusé de s'y dissoudre; mais une portion y a passé facilement, et on a obtenu celle-ci par l'évaporation de l'alcool. Elle était d'une couleur brune foncée, et du poids d'environ 3 gramm., d'une saveur amère très-prononcée; elle rougissait fortement le papier teint par le tournesol. Soupçonnant que cet acide libre était de l'acide lactique, j'ai fait chauffer le tout avec de l'oxide de zinc et une certaine quantité d'eau, et j'ai obtenu, par l'évaporation de la liqueur et un repos de plusieurs jours, des petits cristaux grenus, médiocrement solubles dans l'eau, que j'ai reconnus pour du lactate de zinc. Cet acide libre était donc de l'acide lactique; il était associé, à ce qu'il m'a paru, à une petite quantité d'acide acétique. Le liquide sirupeux, qui a refusé de donner des cristaux, a fourni à la distillation des signes de la présence de l'hydro-chlorate d'ammoniaque. Le liquide sirupeux a été étendu d'un peu d'eau, et on y a versé de l'acide sulfurique affaibli, qui en a précipité une matière brune foncée qui était une combinaison de

picromel et d'acide sulfurique ; on a séparé ce dernier en redissolvant la matière dans l'alcool, et en la faisant digérer avec du carbonate de potasse. Ce picromel, ainsi obtenu, était d'une saveur extrêmement amère, mais sans arrière-goût sucré ; en un mot il était semblable à celui que M. Thenard a indiqué dans la bile des oiseaux. Son poids s'élevait à près de 1 gramme. La liqueur d'où l'acide sulfurique a séparé le picromel retenait des traces de muriate de potasse et une matière animalisée que l'alcool n'a pu dissoudre qu'à la faveur du principe de la bile, et qui était d'ailleurs semblable à celle qui constitue la plus grande partie de l'extrait soluble dans l'eau, des excrémens du rossignol, qui a résisté à l'action de l'alcool, et dont nous allons nous occuper.

Cet extrait, ramené en consistance de sirop épais, puis abandonné pendant quelque temps, s'est pris en une masse cristalline que l'on a exprimée graduellement et fortement dans un nouet de toile. Il en est sorti un liquide brun épais que l'on a recueilli avec soin, et il est resté dans le linge une matière saline, laquelle, desséchée, était du poids de 0g,75. L'eau l'a dissoute en partie, et a laissé 0g,08 d'un sédiment formé de petits cristaux sablonneux blancs, presque insolubles dans l'eau, difficilement fusibles au chalumeau ; l'acide acétique affaibli les a dissous facilement, et la potasse versée dans cette liqueur y a formé un précipité blanc avec dégagement d'ammoniaque. Enfin, en ajoutant du carbonate d'ammoniaque à la dissolution acétique de ces petits cristaux, ils se sont reproduits de nouveau. Ce sel était donc du phosphate ammoniaco-magnésien. L'eau de lavage des 0g,75 de matière saline a fourni par

l'évaporation un résidu qui avait tous les caractères du sulfate de potasse, sel qui doit être considéré comme une partie constituante essentielle de l'urine du rossignol comme de celles des autres animaux. Le liquide brun épais, séparé par expression du phosphate ammoniaco-magnésien et du sulfate de potasse, retenait encore beaucoup de celui-ci en dissolution, ainsi que du phosphate de potasse. Etendu d'eau, il donnait avec l'acétate de magnésie un précipité de phosphate ammoniaco-magnésien qui semble indiquer aussi la présence du phosphate d'ammoniaque : mais la liqueur, surnageant le sel triple ammoniacal, dégageait encore beaucoup d'ammoniaque ; cet alcali était donc saturé par un autre acide que le phosphorique. Soupçonnant que ce pouvait être un acide combustible, j'ai partagé le liquide brun étendu d'eau en deux parties ; l'une d'elles a été chauffée avec de la chaux ; la liqueur filtrée ne contenait plus sensiblement d'ammoniaque ni d'acide phosphorique, et, après avoir séparé par l'acide carbonique l'excès de chaux qu'elle pouvait contenir, elle a fourni, par l'évaporation, des cristaux engagés dans une matière extractiforme. Chauffés au rouge, ces cristaux ont laissé du carbonate de chaux redissous dans une petite quantité d'eau ; l'acide sulfurique n'en a point dégagé d'acide acétique, et a précipité du sulfate de chaux. Une partie de ces mêmes cristaux engagés dans la matière extractiforme, insoluble dans l'alcool, a été délayée avec de l'alcool concentré contenant un peu d'acide sulfurique, et on a fait évaporer la liqueur, dans l'espoir d'obtenir l'acide combustible ; mais il était mélangé de matière extractiforme, et a refusé de cristalliser ; il était d'ailleurs en trop petite quantité pour

que je pusse le soumettre à de nouveaux essais. Quoi qu'il en soit, sa combinaison avec la chaux donne un sel soluble cristallisable : ce n'est assurément pas de l'acide lactique. J'ai cherché à isoler la matière animalisée contenue dans l'autre moitié du liquide brun, et, à cet effet, j'ai précipité ce liquide par l'acétate de baryte pour décomposer le sulfate et le phosphate de potasse et d'ammoniaque qu'il retenait en dissolution ; le précipité obtenu, digéré dans l'acide hydro-chlorique, a laissé 0g,47 de sulfate de baryte chauffé au rouge. Cette quantité, doublée, équivaut à 0g53 de sulfate de potasse, lequel, ajouté à celui déjà obtenu par cristallisation, donne un total de 1g,20 de ce sel. L'acide hydro-chlorique retenait en dissolution le phosphate de baryte qui en a été précipité par l'ammoniaque ; ce sel, desséché, pesait 0g,25 ; le double représente environ 0g,23 de phosphate d'ammoniaque ; mais ce dernier était associé, ainsi que nous l'avons dit, à du phosphate de potasse.

La liqueur brune, ainsi précipitée par l'acétate de baryte, l'a été ensuite par le carbonate d'ammoniaque. Filtrée et évaporée à siccité, elle a laissé un résidu attirant fortement l'humidité de l'air, à raison de l'acétate de potasse résultant de la décomposition du sulfate de potasse par l'acétate de baryte. Ce résidu a été redissous dans l'eau, et on y a versé de l'alcool qui en a précipité la matière animalisée brune ; celle-ci, bien lavée dans l'alcool, retenait encore des indices de phosphate d'ammoniaque qui lui ont été enlevés par la chaux ; c'est alors qu'elle a paru assez bien isolée. Cette matière brune, l'une des plus considérables des excrémens du rossignol, a des caractères particuliers. Elle est cas-

sante, demi-transparente. Sa saveur, presque nulle, rappelle celle de certains extraits de plantes fades. Exposée au feu, elle brûle avec peu de boursoufflement, et sans répandre l'odeur fétide qui caractérise les matières animales. Sa dissolution aqueuse n'a donné, par le mélange avec l'infusion de noix de galle, qu'un léger précipité divisé comme celui que fournit l'extrait des plantes très-peu animalisées; ce précipité s'est redissous avec la plus grande facilité dans la liqueur, soit en la chauffant légèrement, ou en y ajoutant de l'alcool. La dissolution aqueuse de cette matière est précipitée par le sous-acétate de plomb, mais elle n'est point troublée par l'eau de baryte, l'acétate de plomb, le nitrate d'argent, le sublimé corrosif, l'hydrochlorate de chaux. Le per-sulfate de fer n'y produit point de précipité au moment du mélange, mais seulement vingt-quatre heures après. Cette matière peu animalisée ne contient point de soufre, comme la fibre musculaire et la plupart des matières animales; car, étant brûlée sur une lame d'argent, elle n'y a point fait de tache.

10 gramm. des excrémens desséchés du rossignol, chauffés au rouge, ont laissé un charbon qui a dégagé de l'ammoniaque en l'humectant avec un peu d'eau; cependant la lessive alcaline qui en est résultée n'a point donné de bleu de Prusse avec le sulfate de fer; évaporée, elle a laissé un résidu salin du poids de $0^{g},3$, lequel, traité par l'alcool affaibli, a donné $0^{g},07$ de chlorure de potassium. Le résidu insoluble était formé de sulfate, phosphate et carbonate de potasse; au reste, ces sels paraissent varier, par leurs proportions, dans les excrémens du rossignol.

Il me reste encore, pour compléter l'analyse de ceux-ci, à parler de deux substances, l'une de nature huileuse, et l'autre qui offre des caractères particuliers : elles paraissent augmenter l'une et l'autre en raison de la diminution de l'acide urique. Pour les obtenir isolément, j'ai traité par l'alcool bouillant le résidu insoluble dans l'eau des excrémens du rossignol recueillis au printemps, et contenant, dans cette saison, beaucoup moins d'acide urique (1). Le liquide alcoolique troublait à peine l'eau; évaporé, il a laissé une matière brune-noirâtre, laquelle, bien lavée à l'eau bouillante, s'y ramollit sans se liquéfier, et prend la consistance de la poix; gardée sous l'eau, elle a une disposition à se réduire en poudre. L'ammoniaque affaiblie la dissout faiblement, et à l'aide de la chaleur on voit ses parties se réunir et repasser à la consistance de résine molle. Cette matière est bien identique avec celle que M. Proust a indiquée dans l'urine humaine, sous le nom de *résine;* mais étant mise en digestion avec de l'éther, celui-ci la partage en deux parties : 1° en une huile brune, épaisse, poissante, prenant la consistance de la cire lorsqu'elle est traitée par l'acide nitrique, s'unissant immédiatement aux alcalis, et dont la dissolution alcoolique rougit le papier teint en bleu par le tournesol,

2°. En une matière noire particulière insoluble dans l'éther, et qui existe aussi en quantité variable dans le résidu des excrémens du rossignol, épuisé par l'eau et

(1) J'ai observé que, dès le commencement de la belle saison et pendant l'été, la sécrétion de cet acide diminue très-considérablement.

par l'alcool bouillant : on peut la séparer en grande partie de ce résidu par une longue digestion dans l'ammoniaque, qui dissout cette matière en laissant l'acide urique, qui en retient encore.

Cette matière noire, séparée de l'ammoniaque par un acide, se précipite sous la forme de larges flocons bruns caséiformes. Desséchée, elle brille et ressemble à de l'asphalte. Dans cet état, elle est parfaitement insoluble dans l'eau, dans l'alcool, dans l'éther et dans les huiles fixes et volatiles; mais elle passe facilement dans les alcalis. L'acide sulfurique concentré la dissout de même que l'acide nitrique; l'eau la précipite de ces dissolvans. Chauffée dans une petite cornue, elle ne fond point, donne un léger produit ammoniacal et laisse un charbon considérable. Cette matière me paraît avoir une très-grande analogie avec l'ulmine; mais comme elle a déjà été signalée dans l'urine humaine par M. Proust, je la désignerai avec ce savant sous le nom de *matière noire particulière*. Le mucus fait aussi partie des excrémens du rossignol; car, si on verse un acide dans une forte infusion de ceux-ci dans l'eau, on en précipite le picromel, accompagné d'une petite quantité de matière animale insoluble dans l'alcool affaibli, et qui m'a paru de la nature du mucus. D'après ce qui vient d'être exposé, je pense qu'on peut établir que 36 grammes d'excrémens desséchés de rossignol nourri de cœur de bœuf sont composés à-peu-près de :

1°. Sur-urate de potasse et d'ammoniaque...	19g,00
2°. Matière particulière peu animalisée soluble dans l'eau et insoluble dans l'alcool	12,00

3°. Phosphate de chaux ferrugineux......	1,50
4°. Sulfate de potasse.................	1,20
5°. Picromel...........................	1,00
6°. Chlorure de potassium..............	0,23
7°. Phosphate de potasse et d'ammoniaque.	0,23
8°. Acide combustible indéterminé, uni à l'ammoniaque..................	0,20
9°. Phosphate ammoniaco-magnésien......	0,08
10°. Acides lactique et acétique libres; environ	0,10
11°. Mucus..........................	0,10
12°. Matière noire particulière, semblable à celle indiquée dans l'urine par M. Proust, de 1 gramme à.....................	0,10
13°. Huile brune, épaisse, acide, immédiatement soluble dans les alcalis et dans l'alcool; de 0,5 grammes à..........	0,05
14°. Hydro-chlorate d'ammoniaque estimé à	0,05
	35g,87

Analyse du cœur de bœuf.

300 grammes de cœur de bœuf haché ont été délayés avec de l'eau froide, et on a laissé le tout en macération pendant plusieurs heures, en l'agitant de temps à autre; puis on a fortement exprimé la matière fibreuse, que l'on a lavée à plusieurs reprises; bien desséchée, elle pesait 54,59 gram.; elle retenait du phosphate de chaux. Les eaux de lavage réunies et évaporées en grande partie ont fourni de l'albumine coagulée; celle-ci, lavée et desséchée, pesait 8,2 gram.; elle était d'une couleur marron due à la matière colorante du sang, et contenait

du phosphate de chaux et des traces de phosphate de magnésie. Le liquide, débarrassé d'albumine et rapproché presque à siccité, a laissé un extrait du poids de 6,1 gram. : cet extrait, d'un goût agréable de bouillon, ne contenait point de sulfate de potasse; car, redissous dans l'eau, le nitrate de baryte n'a produit dans la liqueur qu'un léger trouble qui s'est entièrement dissipé par l'effusion de quelques gouttes d'acide nitrique. Le nitrate d'argent y a produit un précipité formé en grande partie de chlorure d'argent. Broyé avec la potasse, l'extrait de cœur de bœuf a dégagé de l'ammoniaque qui était probablement à l'état de combinaison avec l'acide phosphorique ou l'acide lactique. La moitié de cet extrait obtenu des 300 grammes de cœur de bœuf, chauffé au rouge dans un appareil convenable, a donné un produit liquide huileux qui ne contenait point d'hydrochlorate d'ammoniaque. Le charbon, après avoir été bien lavé, ne contenait plus que du phosphate de chaux magnésien et des traces de carbonate de chaux. Les eaux de lavage ont donné par l'évaporation à siccité 0,7 gram. d'une masse saline qui rappelait fortement au bleu le papier de tournesol rougi par un acide; saturée par l'acide acétique, elle a fait une vive effervescence, et on a obtenu, par la dessiccation et le traitement par l'alcool, 0,28 gram. d'acétate de potasse desséché, qui représente à-peu-près un poids égal de lactate de potasse que je présume exister dans le cœur de bœuf. Le résidu insoluble dans l'alcool rectifié, après avoir été redissous dans l'eau et abandonné à la cristallisation, a donné 0,19 gram. de cristaux cubiques d'une saveur amère agréable. Ce sel formait un précipité caillebotté avec le nitrate d'argent;

sa dissolution, mêlée au sulfate d'alumine, en a séparé abondamment de l'alun : c'était évidemment du chlorure de potassium (1). L'eau-mère incristallisable, séparée du chlorure de potassium, ressemblait à une dissolution de gomme : étendue d'eau, elle précipitait abondamment le muriate de chaux, l'eau de chaux, le sulfate de fer en flocons blancs gélatineux : mêlée au sulfate d'alumine, elle en a précipité des cristaux octaèdres d'alun. Ce sel incristallisable était donc du phosphate de potasse. Au reste, je n'ai trouvé aucun indice de la présence des sels de soude dans le cœur de bœuf, ainsi que dans le foie de cet animal.

D'après ce qui précède, 300 grammes de cœur de bœuf sont formés à-peu-près de :

Eau	231g,11
Fibrine, vaisseaux, nerfs, tissu cellulaire, graisse et phosphate de chaux	54,59
Albumine retenant de la matière colorante du sang et du phosphate de chaux et de magnésie	8,20
Matière extractiforme soluble dans l'alcool (osmazome)	4,70
Lactate de potasse	0,56
Phosphate de potasse	0,46
Chlorure de potassium	0,38
Sel à base d'ammoniaque et acide libre	»
	300g,00

(1) Le muriate et le phosphate de potasse me paraissent contribuer beaucoup plus qu'on ne pense à la saveur agréa-

Nous avons vu que les excrémens du rossignol nourri de cœur de bœuf ne contiennent point d'urée, et sont formés en grande partie de sur-urate de potasse et d'ammoniaque, et d'une matière extractiforme très-peu azotée qui ne contient point sensiblement de soufre ; cette matière semble être un résidu de la digestion : ne pouvant plus rien fournir de nutritif à un animal carnivore et vorace comme le rossignol, elle est évacuée au dehors. Puisque nous n'avons point trouvé de sulfate de potasse dans le cœur de bœuf, tandis que les excrémens du rossignol qui en a été nourri en fournissent une assez grande quantité, il faut conclure que le soufre qui constituait la fibre musculaire et l'albumine du cœur de bœuf a été acidifié dans les reins. Ce phénomène appuie l'opinion du célèbre Berzelius, qui regarde l'action de ces organes comme une sorte de combustion. Nous reconnaissons encore un produit de la combustion dans la matière noire de l'urine que j'ai comparée à l'ulmine, et que M. Proust avait déjà semblé envisager comme étant une portion de charbon dont se débarrassait l'assimilation organique.

Comme j'ai reconnu que l'extrait aqueux des excrémens du rossignol contient un excès d'acide lactique et ne fournit point de résidu alcalin par la combustion, il faut bien que le lactate de potasse qui existait dans le cœur de bœuf ait été décomposé pendant le travail de l'assimilation. La potasse qui constituait ce sel a donc

---

ble du bouillon, et je suis persuadé que celui de gélatine proposé par M. Darcet gagnerait en qualité si on y faisait entrer immédiatement ces deux sels.

été partagée en deux parties, qui se sont combinées aux acides sulfurique et urique formés dans les vaisseaux des reins.

Purification de l'acide urique.

L'acide urique obtenu des calculs ou des excrémens des oiseaux carnivores, en suivant le procédé décrit dans les ouvrages de chimie, est d'un blanc jaunâtre plus ou moins fauve; il retient ordinairement de la matière animale ou de la matière noire particulière de l'urine, qui se dissout en même temps que lui dans la potasse, et que l'ammoniaque ne peut lui enlever qu'imparfaitement. Pour purifier l'acide urique, je le fais dissoudre à l'aide de la chaleur dans une lessive de potasse caustique; j'évapore la liqueur jusqu'à consistance de bouillie; j'étends celle-ci sur une toile fine, et je la lave peu à peu avec de l'eau en agitant légèrement la matière avec une spatule, jusqu'à ce que les eaux de lavage passent absolument incolores. La matière restée sur la toile, pressée fortement dans du papier gris ou dans du linge usé, est d'un blanc éclatant : c'est du sous-urate de potasse. La saveur alcaline de ce sel est assez forte, mais douceâtre. Il est peu soluble dans l'eau froide; mais l'eau bouillante le dissout, et il se précipite en partie par le refroidissement. Exposé à l'air, il est bientôt décomposé partiellement par l'acide carbonique, et passe à l'état d'urate neutre. 3 grammes de ce sel desséché convenablement et décomposé par l'acide hydro-chlorique ont donné 1,59 gram. de chlorure de potassium, qui représente 1,008 gram. de potasse.

Le sous-urate de potasse est donc composé ainsi qu'il suit :

Acide urique,	66,4 ;
Potasse,	33,6.
	100,0.

C'est de ce sous-urate que je sépare l'acide urique pur. Je le fais dissoudre dans l'eau bouillante immédiatement après qu'il vient d'être préparé ; le premier dépôt qui se forme à mesure que la liqueur se refroidit est mis à part, quoique très-blanc, parce qu'il ne donnerait pas un acide urique de la même nuance que lui ; mais il se reforme bientôt un nouveau précipité en cristaux grenus d'un blanc mat, et, au bout de plusieurs jours, la liqueur ne retient plus en dissolution que du sous-carbonate de potasse légèrement sali par la matière colorante. Ces cristaux, redissous par la potasse, donnent un liquide incolore dans lequel l'acide hydro-chlorique produit un précipité gélatineux du plus beau blanc, qui diminue peu à peu de volume pour cristalliser en fines paillettes nacrées : c'est l'acide urique très-pur.

Note *sur les Remarques de M.* Biot, *publiées dans le Cahier précédent.*

Par Mr A. Fresnel.

Pour juger de l'exactitude des formules d'intensité que j'ai déduites du principe des interférences, M. Biot les a appliquées à différens cas de la Table de Newton qui

est relative aux teintes des anneaux réfléchis. Mais cette vérification repose elle-même sur deux hypothèses : la parfaite exactitude de la Table de Newton et celle de la formule empirique qu'il a donnée pour calculer la teinte résultant d'un mélange quelconque de rayons colorés. Or, je ne sache pas d'abord qu'on ait fait la série d'expériences nombreuses et méthodiques qui aurait été nécessaire pour démontrer la justesse rigoureuse de cette formule, et surtout pour prouver qu'elle représente bien les proportions de lumière blanche ; ce qui me semble peu probable. Certaines couleurs, telles que celles de plusieurs fleurs, dans lesquelles on trouve avec le prisme une quantité notable de rayons hétérogènes, nous paraissent souvent aussi vives et aussi pures que les rayons les mieux simplifiés du spectre solaire. Il est des couleurs composées, telles que le rose et le pourpre, qui produisent sur l'œil des sensations dont on ne peut pas trouver l'équivalent dans les rayons simples du spectre : cependant la construction empirique de Newton suppose cette équivalence. On ne doit donc la regarder que comme une représentation assez grossière des sensations si variées que nous font éprouver les diverses combinaisons des rayons hétérogènes ; et quand elle indique une forte proportion de lumière blanche, il n'en faut pas toujours conclure que la couleur composée est pâle et sans vivacité (1). Il ne me paraît donc pas sûr d'em-

---

(1) Newton dit lui-même, page 153 du premier volume de la traduction française de son Traité d'Optique, que *le violet composé a plus d'éclat et de feu que le violet simple ;* et cependant, d'après la construction, celui-là contenant

ployer cette construction pour juger en dernier ressort de la justesse d'une formule qui donne les intensités de la lumière simple, en s'appuyant d'ailleurs sur une Table dont la parfaite exactitude n'a pas encore été dé-

---

un peu de lumière blanche, devrait présenter, au contraire, une teinte moins vive que celui-ci.

Newton dit encore dans la même page : « Si on mêle en » quantité égale seulement deux des couleurs prismatiques » qui se trouvent opposées l'une à l'autre dans le cercle, le » point Z tombera bien sur le centre O; mais la couleur » composée sera faible et anonyme, au lieu de former un » blanc parfait; car il est manifeste que le mélange de deux » seules couleurs prismatiques ne forme pas un *vrai blanc* ». Or, ce blanc devrait être parfait si la règle de Newton était rigoureuse : aussi présente-t-il ces faits comme des exceptions à sa règle, qu'il ne croyait point tout-à-fait exacte, puisqu'il dit, page 155, « quoique cette règle ne soit pas » d'une justesse mathématique, etc. »

M. Biot s'exprime différemment sur le même sujet, à la fin de la page 454 du tome III de son *Traité de Physique* : « Il faut donc bien se garder, dit-il, de confondre cette règle » donnée par Newton avec une hypothèse empirique : elle » doit être considérée comme une *véritable loi* tirée de » l'expérience. » Il est assez remarquable que M. Biot ait meilleure opinion de l'exactitude de la règle de Newton que Newton lui-même. M. Biot se montre plus sévère à l'égard de ma formule, et la croit fausse, quoique je l'aie présentée comme rigoureuse; mais je suis persuadé que lorsqu'il se sera donné le temps d'y réfléchir davantage, il reconnaîtra qu'il l'a jugée trop vite et trop défavorablement.

montrée, et dont les expressions peuvent être diversement interprétées par les différens observateurs, selon leur manière de sentir et de nommer les couleurs (1).

Il est possible que la Table de Newton ne soit pas très-exacte dans le premier anneau, et particulièrement auprès de la tache noire, où la plus légère flexion du verre peut induire en erreur sur l'épaisseur de la lame d'air, quand on en juge par sa distance au centre. Ainsi la partie de la lame d'air que Newton a considérée comme le commencement du noir, et à laquelle il a supposé une épaisseur de 2 millionièmes de pouce anglais, d'après la mesure du diamètre, pouvait être un peu plus mince. D'ailleurs rien ne prouve que ce que Newton appelle *le commencement de la tache noire* réfléchisse une lumière beaucoup plus faible que le tiers de celle du blanc du premier ordre; car il distingue en outre *le noir* et *le très-noir*.

J'ai refait, pour ce cas seulement, le calcul de M. Biot,

---

(1) J'ai souvent eu l'occasion d'observer qu'un peintre très-habile, qui assurément se connaît bien en couleurs et sait distinguer leurs nuances les plus délicates, ne leur donne pas, dans beaucoup de cas, tout-à-fait les mêmes noms que M. Biot. Je suis loin d'en conclure que M. Biot se trompe; je veux seulement montrer par là que deux personnes peuvent donner des noms différens aux mêmes teintes et les mêmes noms à des teintes différentes, et qu'ainsi ce n'est point par les noms qu'on peut s'assurer de leur identité, mais seulement par la comparaison directe des teintes mises à côté l'une de l'autre : encore ne juge-t-on ainsi que l'identité de sensation et non celle de composition.

et j'ai trouvé que la somme des différens rayons pris dans leurs proportions colorifiques données par la formule empirique de Newton, était un peu plus du tiers de la même somme calculée pour l'épaisseur qui réfléchit le blanc du premier ordre ; mais en comparant les rayons verts, jaunes et orangés, qui sont beaucoup plus brillans que les autres et ont bien plus d'influence comme rayons éclairans, j'ai trouvé que leur somme, dans le premier cas, n'était pas le tiers de leur somme dans le second : or, cette différence d'intensité est déjà considérable. On a pu remarquer souvent, en regardant les caractères d'un livre à travers un rhomboïde de spath calcaire, combien la simple réduction à moitié de la lumière, sur un point d'un espace éclairé, rendait ce point sombre en comparaison des parties environnantes.

Je ne m'arrêterai pas à discuter les autres cas sur lesquels M. Biot a comparé ma formule avec la Table de Newton. Il me semble qu'ils prouvent encore moins que le premier la fausseté de cette formule ; car les couleurs qu'il en déduit sont les mêmes, du moins quant aux noms, que celles de la Table de Newton, puisque M. Biot trouve *rouge* quand elle dit *rouge*, et *violet* quand elle dit *violet*; et les discordances qu'il croit apercevoir ne roulent plus que sur des proportions de lumière blanche, qu'il n'a pas mesurées. Ainsi, en considérant même la Table de Newton et sa règle empirique pour le mélange des rayons colorés, comme étant l'une et l'autre d'une exactitude rigoureuse, on n'y trouve rien qui prouve réellement que ma formule est en défaut, du moins dans les cas particuliers choisis par M. Biot. Ce savant compare les résultats de ma formule avec ceux que

donne la construction indiquée par Newton pour déterminer les rayons simples qui entrent dans les teintes des anneaux réfléchis, et parce que ma formule ne donne pas la même proportion de lumière blanche, il en conclut qu'elle est fausse. Avec cette manière de raisonner, il était inutile de faire tous ces calculs, et il suffisait de dire : « La formule de M. Fresnel ne coïncide pas avec » la construction de Newton : donc elle est fausse. »

Il est d'autant plus permis de ne pas se rendre à cet argument, que la construction de Newton, que ce grand géomètre ne supposait pas rigoureuse, comme M. Biot l'observe lui-même, étant fondée sur l'hypothèse que les anneaux complètement obscurs dans la lumière homogène ont la même largeur que ceux qui la réfléchissent en partie, est en contradiction manifeste avec les faits. Pour s'en convaincre, il suffit d'employer une lumière brillante, et après l'avoir simplifiée au moyen d'un prisme ou d'un verre rouge, la faire tomber sur un prisme en contact avec un verre légèrement convexe, dont on a noirci la surface inférieure, afin d'éteindre la seconde réflexion : les deux faces supérieures du prisme doivent faire un angle d'autant plus obtus, qu'on veut observer les anneaux plus près de l'incidence perpendiculaire. En vertu de cet angle, l'œil ne reçoit que les rayons réfléchis à la seconde surface du prisme et à la première surface du verre convexe, c'est-à-dire, seulement ceux qui concourent à la formation des anneaux. Or, en les observant avec une loupe, on reconnaîtra que les parties des anneaux obscurs qui présentent une absence presque totale de lumière et paraissent d'un noir sensiblement uniforme, sont beaucoup plus étroites que

les parties éclairées, même dans les anneaux du premier, deuxième et troisième ordre, où le défaut d'homogénéité de la lumière se fait très-peu sentir. On peut se servir, pour cette expérience, de la lumière des nuages blancs fortement éclairés par le soleil, ou des rayons solaires introduits dans une chambre obscure. C'est ce second procédé qu'il faudrait adopter, si l'on voulait comparer exactement les intensités d'une lumière sensiblement homogène dans les différens points des anneaux obscurs et brillans. Je suis persuadé qu'on trouverait alors des résultats conformes à ma formule, du moins pour les anneaux des deux premiers ordres.

Cette confiance est fondée sur les vérifications nombreuses et variées auxquelles j'ai soumis les mêmes calculs d'interférences dans mes expériences de diffraction; car, en déterminant la position des bandes obscures et brillantes, je n'ai pas seulement vérifié les formules pour les cas extrêmes de discordance ou d'accord complets, comme il serait vrai de le dire, si je n'avais calculé que les *maxima* et *minima* des franges produites par deux miroirs, par exemple, où il n'y a que deux systèmes d'ondes qui interfèrent : dans les phénomènes de diffraction proprement dite, les *minima* sont produits par la réunion d'une infinité de systèmes d'ondes élémentaires qui s'y trouvent à tous les degrés possibles d'accord et de discordance; et si le calcul d'interférence qui donne l'intensité de leur résultante totale n'était pas juste pour tous ces degrés, j'aurais dû quelquefois trouver des différences notables entre la théorie et l'observation sur la position des *minima*. Il est vrai que je vérifiais ainsi des formules déduites à la fois du calcul des interférences,

qui suffit pour les anneaux colorés, et du principe de Huyghens, qui est nécessaire à l'explication des phénomènes de diffraction; et l'on supposera peut-être que la fausseté de ce principe, combinée avec celle de mes calculs d'interférences, a pu me conduire, par un heureux hasard, à des résultats constamment exacts. C'est pourquoi je me propose de vérifier séparément les formules d'interférences sur les anneaux réfléchis, aussitôt que mes occupations me le permettront, et de comparer ensuite les intensités des différens points des franges de diffraction pour compléter la démonstration expérimentale du principe de Huyghens.

En attendant, je remarquerai que les formules d'intensité déduites du principe des interférences n'ont point seulement été vérifiées directement dans les cas extrêmes de *maximum* et de *minimum*, mais encore dans les cas intermédiaires où les deux systèmes d'ondes diffèrent d'un quart d'ondulation, ou en général d'un nombre entier et impair de quarts d'ondulation; car on trouve alors par l'expérience sur les lames cristallisées, en tournant leur section principale dans l'azimut de 45°, que les deux images sont toujours d'égale intensité, conformément au calcul. Ainsi, par cela seul, l'exactitude de mes formules serait déjà aussi probable que celle de la loi de Malus, qui n'a été rigoureusement vérifiée jusqu'à présent que pour les angles extrêmes 0° et 90°, et pour l'angle intermédiaire de 45°.

Elles satisfont d'ailleurs, comme la loi de Malus, à la condition que la somme des intensités des deux images reste toujours constante; il est donc invraisemblable que,

s'accordant avec l'expérience sur tous ces points, elles soient aussi fausses que M. Biot le suppose.

Je remarquerai encore que le résultat expérimental dont je viens de parler est entièrement opposé à l'idée que ce savant physicien s'est faite sur les intensités relatives de la lumière aux divers points des anneaux réfléchis ; car, si l'épaisseur qui répond à la limite d'un anneau parfaitement obscur dans la lumière homogène, était la moyenne entre celles qui répondent au milieu de l'anneau obscur et au milieu de l'anneau brillant, il s'ensuivrait, d'après l'analogie que M. Biot établit lui-même entre ce phénomène et celui des lames cristallisées, que l'épaisseur de lame moyenne entre celle qui produit la polarisation complète dans l'azimut $2i$, et celle qui présente la polarisation complète suivant le plan primitif, ne devrait plus donner de lumière sensible dans l'image extraordinaire : or, c'est précisément dans ce cas que les deux images sont d'égale intensité.

M. Biot rappelle une conversation dans laquelle il m'a expliqué comment les formules qui l'avaient induit en erreur sur les teintes produites par deux lames d'égale épaisseur croisées à 45°, n'étaient point une conséquence nécessaire de la théorie de la polarisation mobile. J'avoue que je ne compris pas très-bien ce qu'il me fit l'honneur de me dire sur ce sujet, et que je ne devine pas encore comment ce savant physicien peut *déduire de sa théorie* les formules générales pour le cas où les axes font entre eux un angle quelconque. Mais je n'ai jamais cité l'erreur dans laquelle il avait été conduit par ses premières formules, et *dont j'ai été averti par les miennes*, comme une preuve décisive de l'inexactitude de sa théo-

rie ; j'ai voulu seulement montrer par cet exemple que j'avais choisi un meilleur guide que le sien : et il me semble qu'il n'en disconvenait pas dans la conversation dont il s'agit ; car il me dit que « la théorie que j'avais adoptée prenait les phénomènes de plus haut, et les conduisait plus loin. »

En terminant cette note, je conviendrai de nouveau des secours que j'ai trouvés dans les travaux de M. Biot, lorsque je me suis occupé de la coloration des lames cristallisées. Ses formules m'ont servi à reconnaître facilement, sans recourir à l'expérience, dans quels cas les teintes devenaient blanches, ou atteignaient leur *maximum* d'intensité, et m'ont indiqué l'image pour laquelle il faut ajouter une demi-ondulation à la différence de marche des deux systèmes d'ondes, règle que je pouvais également déduire de mon expérience des deux rhomboïdes. Mais voilà tout ce que j'ai emprunté à M. Biot (1); et l'on sentira aisément que, malgré le rapport qu'il remarque entre mes formules et les siennes, dans le cas d'une seule lame, les miennes en diffèrent trop au fond pour en avoir été déduites, puisqu'elles donnent les intensités de chaque espèce de rayons, tandis que les

(1) Je devrais peut-être ajouter que c'est avec les mesures précieuses de ce célèbre physicien que je me suis assuré que les teintes des lames cristallisées tenaient à la différence de marche des rayons ordinaires et extraordinaires qui les ont traversées. Cette idée me vint aussitôt que je commençai à m'occuper de ces phénomènes, sans que je connusse alors la note publiée par M. Young sur ce sujet plusieurs années auparavant. M. Arago ne m'en avait pas encore parlé, lors-

siennes renvoient simplement à la Table de Newton, ainsi qu'il le remarque lui-même. Mais c'est principalement lorsque la superposition de plusieurs lames vient compliquer le phénomène, que la différence est grande entre les secours qu'on trouve dans les deux théories. Avec celle que j'ai adoptée, les lois des phénomènes les plus compliqués sont des conséquences *forcées* des mêmes principes qui ont servi à calculer les teintes d'une seule lame; tandis que M. Biot est obligé de faire de nouvelles suppositions pour *renouer les oscillations des molécules lumineuses* d'une lame à la suivante : c'est là surtout que la complication et la multiplicité de ses hypothèses rend sa théorie bien improbable. Si l'on joint aux accès des molécules lumineuses leurs axes de polarisation, les oscillations de ces axes, et toutes les propriétés physiques qu'elles doivent prendre dans l'intérieur des cristaux et transporter avec elles pour recommencer leurs oscillations dans un second cristal, tantôt à une profondeur, tantôt à une autre, on aura peine à concevoir comment tant de modifications diverses peuvent se trouver réunies dans une même molécule.

---

que je lui communiquai le résultat de mon calcul pour le cas particulier de l'incidence perpendiculaire. Je ne dis point cela pour réclamer une partie de l'honneur de cette découverte, qui appartient tout entier à M. Young, mais pour faire sentir combien il était facile, avec la théorie des ondulations, de découvrir cette relation intime entre les anneaux colorés et les teintes des lames cristallisées, qui avait échappé à la sagacité de M. Biot guidé par le système de l'émission.

Extrait *des Séances de l'Académie royale des Sciences.*

Séance du lundi 9 avril 1821.

M. Pfaff, nommé correspondant, adresse ses remercîmens à l'Académie.

M. Desmajsons annonce une *Découverte intéressante sur la culture de la vigne.* La lettre est renvoyée à l'examen d'une Commission.

On reçoit un *Mémoire sur l'Artillerie*, par M. Miller.

Au nom d'une Commission, M. Fourier fait un rapport approfondi sur un projet de tontine de compensation proposé par MM. Pallard et Audéond. Voici les conclusions :

« Nous terminerons ce rapport en résumant comme » il suit les conséquences principales de notre examen, » savoir : qu'en général l'établissement des tontines ne » présente point de motifs d'utilité publique, et ne nous » paraît mériter, à aucun titre, l'autorisation du Gou- » vernement.

» Que si cette autorisation ne pouvait être refusée, » sauf à restreindre les spéculations par la seule concur- » rence des établissemens analogues, et si toute la ques- » tion qui nous est proposée se réduit à régler équita- » blement les intérêts respectifs des actionnaires, nous » dirons qu'on atteindra ce but, soit en réunissant dans » une même classe toutes les personnes du même âge, » sans établir aucune relation entre les différentes clas- » ses ; soit en déterminant les intérêts et les mises, en » sorte que chaque mise correspondante à un âge donné

» représente la valeur moyenne des sommes éventuelles
» que tous les actionnaires de cet âge peuvent recevoir.

» Qu'en s'écartant de ce dernier principe, on serait
» exposé aux plus graves inconvéniens, et notamment
» que l'on pourrait donner lieu à des spéculations qui
» consisteraient à acquérir toutes les actions d'un certain
» ordre pour s'assurer un gain énorme au détriment des
» autres sociétaires.

» Que dans l'intérêt des particuliers qui usent du
» droit d'aliéner leurs fonds, le placement en tontine
» est en général le moins avantageux de tous; que le
» contrat de rente viagère constitué sur une ou plusieurs
» têtes est à la fois plus simple et plus favorable; qu'il
» en est de même de plusieurs autres placemens dont la
» forme peut être variée, et qui procurent un revenu
» viager fixe ou croissant avec l'âge. »

Après ces considérations générales, applicables à toutes les tontines, le rapporteur arrive au projet particulier de MM. Pallard et Audéond; il en fait ressortir tous les vices et conclut « enfin que l'Académie ne peut
» que refuser son approbation à un établissement irré-
» gulier, contraire aux vues du Gouvernement, et même
» aux intentions des auteurs du projet. »

L'Académie adopte les conclusions.

M. Gambey demande des commissaires pour une *nouvelle boussole* qu'il a déposée à l'Observatoire.

M. Latreille, au nom d'une Commission, rend compte du *Mémoire* présenté à l'Académie par M. Audouin *sur l'Organisation sexuelle des bourdons.*

« Les commissaires reconnaissent que M. Audouin a
» donné, par ce travail, une nouvelle preuve de son

» talent dans l'art d'observer, et de son bon esprit dans » l'exposition des faits. Il mérite de recevoir de l'Aca- » démie de nouveaux éloges, et d'être invité à poursuivre » des recherches dont celles-ci ne sont, il est vrai, qu'un » essai préparatoire, mais d'un heureux augure. »

L'Académie adopte les conclusions.

Séance du lundi 16 avril.

M. le Général Brisbane, correspondant, annonce qu'il s'occupera avec beaucoup de zèle, à la Nouvelle-Galles du sud, dont il est gouverneur, des observations qui lui ont été recommandées par divers membres de l'Académie.

M. le baron Dupin adresse, pour le prix fondé par M. de Montyon, deux *Mémoires relatifs à la statistique du département des Deux-Sèvres.*

Au nom d'une Commission, M. Duméril lit un rapport sur le *Traité* manuscrit *des Maladies catarrhales*, du Dr Larch.

L'extrait du travail du Dr Larch qui a été communiqué à l'Académie ne contenant que des aperçus ou des généralités, les commissaires n'ont pu se prononcer ni sur son mérite ni sur son utilité.

M. Geoffroy-Saint-Hilaire lit des Considérations d'où sont déduites des règles pour l'observation des monstres et pour leur classification.

M. Dupetit-Thouars commence la lecture d'un *Mémoire* intitulé : *Démonstration de sept propositions ou théorêmes sur lesquels se fonde la végétation considérée dans la reproduction par bourgeons.*

M. Moreau de Jonnès lit une Note sur la maladie connue sous le nom de *Cholera-Morbus* de l'Inde.

Séance du lundi 23 avril.

On lit un extrait du testament de M. de Montyon relatif à ses fondations de prix pour l'Académie. On arrête qu'il sera écrit à Son Excellence le Ministre de l'Intérieur à l'effet d'obtenir l'autorisation nécessaire pour accepter la nouvelle somme de 20000 francs léguée par M. de Montyon.

M. Geoffroy-Saint-Hilaire rend un compte verbal de l'Essai de M. Chabrier sur le vol des insectes.

Au nom d'une Commission, M. Arago fait un rapport sur le voyage du capitaine Freycinet. (Ce rapport a été imprimé dans le Cahier d'avril, page 389.)

Séance du lundi 30 avril.

M. Prompt adresse des observations sur un théorême d'algèbre ; M. Descourtils présente un manuscrit intitulé : *Flore médicale* des Antilles, avec des planches ; M. Merat-Guillot, pharmacien à Auxerre, annonce qu'il rend les toiles incombustibles avec le phosphate acide de chaux. Diverses Commissions prendront connaissance de ces objets.

M. Cuvier présente à l'Académie la tête de Descartes, que M. Berzelius, secrétaire de l'Académie de Stockholm, a achetée en Suède, dans une vente publique, et qu'il s'est empressé de renvoyer dans la patrie de ce grand homme. Il donne lecture de la lettre où M. Berzelius rend compte de détails inconnus sur l'histoire de cette tête et qui constatent son authenticité. M. Cuvier présente en même temps un portrait gravé de Descartes, et

fait l'observation que tous les traits marqués par les parties osseuses sont semblables aux caractères de la tête adressée par M. Berzelius : ce qui achève de prouver, suivant lui, que c'est en effet la tête de Descartes.

L'Académie se réserve de prononcer ultérieurement sur les moyens de conserver dans un lieu honorable cette précieuse relique.

M. Magendie lit un *Mémoire sur l'entrée accidentelle de l'air dans les veines, sur la mort subite qui en est l'effet, sur les moyens de prévenir cet accident et d'y remédier.* (Le Mémoire est renvoyé à une Commission.)

M. Dupetit-Thouars lit le second chapitre de son Mémoire; il a pour titre : Le Bourgeon se nourrit aux dépens des sucs contenus dans les utricules du parenchyme intérieur : c'est ce qui le fait passer à l'état de moelle.

M. Morel lit un Mémoire dans lequel il traite des facultés vibratoires du système membraneux de l'oreille humaine. (Il sera fait un rapport sur le Mémoire de M. Morel.)

Un Mémoire qu'a lu M. Virey à la fin de la séance, *sur la membrane de l'hymen*, a été renvoyé à l'examen d'une Commission.

Séance du lundi 7 mai.

M. Cuvier présente une tête de tapir d'Amérique ; cet animal est distinct de celui de l'Inde. A cette occasion, le même membre lit une Notice du voyage de MM. Diard et Duvaucel chez les Malais, et des objets intéressans

qu'ils destinent au Muséum d'Histoire naturelle, et au nombre desquels est la tête du tapir.

M. Geoffroy-Saint-Hilaire lit un *Mémoire* intitulé : *Du Mode de formation de la vertèbre, de ses élémens, et de leur arrangement respectif dans les diverses classes d'animaux, et particulièrement de la vertèbre chez les lamproies.*

M. Arago présente des *Mémoires* de M. Lislet-Geoffroy, de l'Ile-de-France. Ces Mémoires sont intitulés : *Voyage à la baie de Louqui, à Madagascar*; et *Mémoire sur la nouvelle carte de l'archipel situé au nord-est de cette île.* M. Arago demande que M. Lislet soit réintégré dans sa qualité de correspondant qui n'a pu lui être enlevée que par erreur.

L'Académie arrête que M. Geoffroy-Lislet sera porté à l'avenir sur la liste des correspondans, sauf à ne pas nommer quand il arrivera une vacance parmi les correspondans de la Section de Géographie.

On annonce la mort de M. Grégory, correspondant, et doyen des professeurs de médecine au collége d'Edimburgh.

Séance du lundi 14 mai.

M. Thaër, nouvellement nommé correspondant, remercie l'Académie.

M. Laur, ingénieur-géomètre du cadastre, demande des commissaires pour un nouvel ouvrage qu'il a fait sur la géodésie.

M. Delambre lit une note dans laquelle il expose ses doutes sur l'authenticité du crâne que M. Berzelius a en-

voyé de Stockholm, comme ayant été celui de Descartes.

M. Cuvier, qui ne partage pas les doutes de M. Delambre, présente aussi verbalement quelques réflexions. Cette discussion n'amène aucun résultat.

M. Duméril fait un rapport sur une note présentée à l'Académie par M. Virey, et dans laquelle il s'est proposé d'expliquer l'origine de la membrane hymen, dont l'existence et les usages ont été un sujet de discussion entre les anatomistes.

L'auteur n'ayant présenté, à l'appui de son opinion, ni des recherches anatomiques, ni des dessins, les commissaires n'ont pu la considérer que comme une hypothèse qui jusqu'à présent n'est pas prouvée.

M. Desfontaines fait un rapport sur la *Flore médicale des Antilles* de M. Descourtils. Les conclusions sont que l'auteur mérite les encouragemens de l'Académie, et qu'on doit l'engager à publier un ouvrage intéressant pour les botanistes et pour les médecins qui voudront connaître les divers usages auxquels on emploie les plantes qui croissent aux Antilles.

M. Navier adresse un Mémoire qui contient les lois des déplacemens des molécules des corps solides élastiques, lorsque ces corps sont maintenus en équilibre sous l'action de diverses forces, ou vibrent par suite de l'action de ces mêmes forces.

M. Geoffroy-Saint-Hilaire lit un *Mémoire sur deux principaux étuis membraneux de la colonne épinière, et sur la part d'influence de ces deux périostes dans la formation de la vertèbre*.

M. Dupetit-Thouars lit la Démonstration de son troisième théorème, ainsi conçu : Dès que le bourgeon se

manifeste, il obéit à deux mouvemens, l'un montant ou aérien, l'autre descendant ou terrestre. Du premier, il résulte l'embryon des feuilles, la plumule; du second, les nouvelles fibres ligneuses et corticales, la radicule.

M. Moreau de Jonnès lit une Note sur le grand courant de l'Atlantique équatoriale.

Séance du lundi 21 mai.

M. Pons remercie l'Académie du prix d'astronomie qu'elle lui a décerné.

M. Walckenaër présente une carte de la partie septentrionale de l'Afrique : il en explique les fondemens.

M. Dupetit-Thouars lit son quatrième théorême. Chacune de ces fibres se forme aux dépens du cambium, et elle apporte vers le bas la matière nécessaire à son élongation radicale.

M. Duméril est chargé de prendre connaissance d'un *Mémoire* de M. Fohmann *sur les Vaisseaux lymphatiques chylifères.*

Un *Mémoire* de M. Miller *sur l'Artillerie* est renvoyé à l'examen d'une Commission.

Séance du lundi 28 mai.

M. Chevreul adresse sous cachet les principaux résultats auxquels il est arrivé sur différens objets relatifs à la chimie animale.

Un *Mémoire* de M. Vitier *sur la Manière de faire jouer différentes pompes par le moyen de l'eau*, est renvoyé à l'examen d'une Commission.

M. Biot lit un *Mémoire* intitulé : *Démonstration gé-*

nérale de la loi suivant laquelle les cristaux doués de la double réfraction polarisent les rayons lumineux qui traversent leur substance.

M. Hallé rend compte de l'état fâcheux où se trouve M. Richard, membre de l'Académie.

M. Moreau de Jonnès présente un individu fort volumineux de l'araignée des oiseaux. Il lit ensuite un *Mémoire* intitulé : *Recherches sur la température des Antilles.*

Sur *les Microscopes catadioptriques.*

Par le Prof. Jean-Baptiste Amici (1).

(Traduit de l'italien.)

L'utilité d'un microscope qui joindrait à une grande force amplifiante une telle disposition de ses parties, qu'il pourrait servir à observer commodément chaque espèce de corps, soit fluide ou solide, transparent ou opaque, sans trop le diviser, a été généralement reconnue par tous ceux qui se sont exercés dans l'art difficile d'explorer la nature jusques dans ses plus petits détails. C'est pour cela que les artistes et les géomètres les plus célèbres qui se sont occupés de cette par-

(1) Le microscope que M. Amici décrit dans ce Mémoire est l'instrument dont il s'est servi pour ses curieuses observations sur la circulation des sucs dans le Chara. (Voyez *Ann.*, tome XIII.)

tie de l'optique, soit expérimentalement ou à l'aide du calcul, ont principalement cherché à construire un instrument qui, doué d'un grossissement considérable, de clarté et de netteté, pût être encore d'un usage facile et universel.

La fameuse découverte de l'achromatisme a été certainement un très-grand pas vers la perfection desirée. Depuis lors on a imaginé plusieurs formes de microscopes composés, qui ont plus ou moins répondu aux espérances des observateurs. Toutefois, si des mathématiciens renommés et de très-habiles artistes ont amené cet instrument au dernier degré de bonté auquel on puisse atteindre en usant du principe de la réfraction, leurs profondes recherches ne se sont pas beaucoup étendues jusqu'ici sur les microscopes à réflexion : ceux-ci paraissent cependant eux-mêmes susceptibles d'amélioration.

Il n'existe, à ma connaissance, que trois espèces de microscopes à réflexion ; ils ont été successivement imaginés par Newton, par Smith et par Barker ; mais ces microscopes sont bien loin de nous présenter les avantages et les facilités que l'on desire, quoique, dans quelques circonstances particulières, et dans les observations de certains objets, ils produisent des résultats satisfaisans.

Dès qu'on a une teinture d'optique, on sait que les miroirs concaves de métal forment des images supérieures en distinction à celles que les lentilles produisent ; qu'on peut dès-lors leur donner une plus grande ouverture, et qu'en recueillant ainsi un faisceau de lumière étendu, les objets observés sont très-brillans, et supportent de forts grossissemens. Mais si on combine

un de ces miroirs objectifs avec un oculaire simple, comme Newton l'a proposé, l'objet se trouvant placé entre l'œil et le réflecteur, on ne peut examiner, pour ainsi dire, que des molécules isolées, et il est impossible de les éclairer convenablement, surtout lorsque, pour augmenter la force de l'instrument, on a beaucoup diminué le rayon de courbure de la surface du miroir métallique. Cet inconvénient limite, dans la pratique, les avantages que la théorie de la réflexion faisait espérer, et c'est pour cela que de telles combinaisons n'ont pas encore obtenu l'heureux résultat que leur immortel auteur en attendait.

Si nous passons maintenant au microscope catadioptrique décrit par Smith dans son excellent *Cours d'Optique*, nous trouverons qu'il n'est pas non plus exempt de l'inconvénient que nous venons de signaler, et qu'il ne peut être appliqué qu'aux très-petits objets transparens, susceptibles d'être portés sur la pointe d'une aiguille, ou au milieu de deux petites tenailles très-fines. Je conviens que la construction et la disposition des deux miroirs percés, l'un concave et l'autre convexe, est très-ingénieuse ; qu'elle corrige l'aberration de sphéricité, et peut permettre un agrandissement considérable ; aussi, malgré que l'usage de cet instrument soit très-borné, a-t-on proposé de le substituer aux microscopes dioptriques dont la force est moindre.

Quant à l'invention de M. Barker (*Encyclopédie méthodique mathématique*), elle serait très-intéressante, et fournirait le plus précieux instrument, si à l'application générale qu'on en peut faire, il était possible de joindre encore un fort grossissement.

Il serait inutile que l'objet fût placé, comme l'auteur le veut, 9 pouces, et même 24 pouces au-delà de l'embouchure du télescope grégorien qui fait l'effet du microscope, si le diamètre du plus grand miroir, par les lois de l'optique, ne peut pas augmenter en proportion de la plus grande distance du corps qu'on veut observer. La facilité qu'on a de mieux éclairer un objet qui s'éloigne de l'instrument ne compense pas réellement, dans certaines limites, la perte de lumière qu'occasione le rétrécissement qu'il faut faire éprouver à l'objectif à cause de l'augmentation de sa longueur focale. Si un objet observé distinctement à la distance de 10 pouces d'un objectif de 2 pouces, était ensuite transporté à 20 pouces, il faudrait allonger l'instrument du double, ou donner quatre pouces à l'ouverture du miroir concave, pour le voir avec la même netteté, en se servant d'un grossissement égal : or, il est clair que cet agrandissement proportionnel ne peut pas être effectué à cause de l'insupportable aberration de lumière qui en résulterait.

En outre, le nombre de fois dont l'objet est augmenté n'est pas précisément égal au grossissement du télescope grégorien allongé pour voir distinctement ledit objet ; mais il est représenté par le quotient qu'on obtient en divisant le pouvoir amplificatif du télescope par le nombre de fois que la distance de l'objet à l'œil contient la plus petite distance à laquelle l'observateur peut distinctement voir sans instrument : cette dernière distance est communément évaluée à 8 pouces. Il résulte de là, par exemple, que si un télescope grégorien, employé comme microscope, montre un objet distant de l'œil de 24 pouces, trente fois plus grand qu'on ne le découvrirait à la

simple vue, l'agrandissement, véritablement évaluable, ne sera que dix fois, quotient de 30 divisé par $\frac{24}{8}$.

On voit déjà qu'on trouverait un plus grand avantage dans l'emploi de la construction de Cassegrain que dans celle de Grégori, adoptée par Barker. Le petit miroir convexe, en effet, diminue un peu l'aberration du grand miroir concave; et comme il se trouve plus près de celui-ci d'environ le double de sa propre distance focale, il intercepte une bien moindre partie du faisceau de lumière qui va l'atteindre; on peut donc rapprocher l'objet de l'instrument, de manière qu'il ne soit qu'à la distance de 3 ou 4 pouces seulement de son embouchure, sans perdre la faculté de l'éclairer à plaisir, mais en gagnant beaucoup sous le rapport du grossissement.

Cette amélioration pourtant n'est pas tout ce que peut donner le principe de la réflexion. J'ai eu l'occasion de reconnaître, par la pratique, la supériorité qu'ont les télescopes astronomiques réfléchissans sur les lunettes. Dans les premiers, la netteté et le grossissement sont surprenans, parce que avec une exacte configuration des miroirs on corrige toute l'aberration de la lumière: dans les lunettes, au contraire, quand on a détruit l'aberration de sphéricité, il reste encore celle de réfrangibilité qui résulte de l'inégale distribution des couleurs dans les spectres formés par différens milieux. (*Voyez*, à ce sujet, les expériences faites par le célèbre Boscowich; *Boscowich opere Bassano*).

Après avoir ainsi reconnu la supériorité des télescopes à réflexion, il me vint dans l'esprit de rechercher si l'on ne pourrait pas construire d'une manière analogue des

microscopes catadioptriques qui pussent rivaliser avec les microscopes dioptriques.

En m'occupant de cette recherche, il me parut qu'un télescope, quelle que fût sa forme, devait, par un simple renversement, pouvoir se transformer en un microscope : il fallait pour cela poser l'objet dans l'endroit où l'on mettait antérieurement l'œil, et transporter réciproquement l'oculaire dans le lieu qu'occupait l'objet.

Cette pensée, que l'on verra mieux développée plus loin, fut l'origine de la construction d'un nouveau microscope à l'occasion duquel l'Institut italien des Sciences voulut bien m'honorer par la récompense d'une médaille d'or : on reconnut alors *dans l'instrument l'avantage d'un plus grand grossissement, la commodité d'observer l'objet sans le diviser, et la faculté de l'éclairer plus ou moins selon qu'il était diaphane ou opaque.*

Le bon accueil que mon premier essai obtint dans une réunion aussi célèbre de savans était bien suffisant pour m'encourager à publier mes idées. Mais à cette raison il s'en joint une autre aujourd'hui : c'est que l'instrument, à l'aide des modifications qui m'ont été suggérées par de nombreuses expériences, s'est considérablement perfectionné, et qu'il est supérieur pour la force et pour la commodité à mon premier ouvrage.

Je vais donc faire connaître les parties principales dont se compose le nouvel instrument, et en indiquer de plus les dimensions, pour la commodité des artistes qui voudront entreprendre sa construction sur les bases les plus communément adoptées par moi-même.

A B (*fig.* 1) est un tube de cuivre de la longueur

de 12 pouces anglais ; il forme le corps du microscope, qui demeure toujours horizontal. A l'extrémité *A*, il y a un miroir concave de métal, dont l'axe coïncide parfaitement avec l'axe du tube. La courbure de ce miroir est elliptique : les foyers de l'ellipse se trouvent, l'un à la distance de deux pouces et $\frac{6}{10}$, l'autre à douze pouces du centre de la surface du miroir.

La tige *E* intérieure soutient un petit miroir plan, de figure ovale, formé par la section oblique d'un petit cylindre de métal du diamètre de $\frac{5}{10}$ de pouce.

Le milieu de la superficie polie de ce miroir est dans l'axe du miroir concave, et éloigné de son centre d'un pouce et $\frac{5}{10}$. Le miroir plan est posé de manière qu'il reçoit les rayons émanés de l'objet *O*, par un petit trou *D* pratiqué sur la paroi du tube, et qu'il les réfléchit ensuite sur le miroir concave : or, comme l'objet *O*, moyennant la crémaillère *R*, peut être porté dans le foyer le plus voisin du miroir concave, c'est-à-dire, à la distance d'un pouce $\frac{1}{10}$ du miroir plan, les rayons sont rendus convergens sur *B*, qui est le foyer le plus éloigné, et ils y forment l'image de l'objet ; on observe cette image à l'aide de différens oculaires qui peuvent être appliqués à l'extrémité *B* du tube.

Le diamètre intérieur du tube qui limite l'ouverture du grand miroir étant un pouce et $\frac{1}{10}$, et la grosseur de la monture de cuivre d'environ un vingtième de pouce, l'objet se trouve éloigné du tube d'un demi-pouce, et peut être conséquemment très-bien éclairé dans toutes ses parties. Lorsqu'on veut observer les corps, il est facile de les éclairer par-dessous à l'aide d'un miroir *S* ; ou bien de haut en bas, par la réflexion oblique

de la lumière directe d'une fenêtre. On peut encore recueillir la lumière d'une chandelle, avec une lentille applicable au porte-objet, comme on le voit en *L*, et mieux encore par le moyen d'un miroir concave troué *F* (*fig.* 2), qui s'introduit avec sa tige dans la cavité *E*.

Le grand miroir éclairant *S* est concave, et a un diamètre de trois pouces : avec le bouton *Q*, on peut l'élever ou l'abaisser facilement pour éclairer plus ou moins les objets.

Le miroir concave supérieur peut aussi s'approcher ou s'éloigner à l'aide d'une vis *V*. Par les mouvemens combinés de ces deux miroirs éclairans, on règle à volonté l'intensité et la direction de la lumière : une bonne distribution des rayons sur les objets améliore puissamment les effets de l'instrument.

Les mesures que j'ai précédemment décrites pour les diverses parties du microscope lui donnent une forme commode, et lui procurent une grande force amplificative avec une moyenne distance de l'objet au corps du microscope. Cette distance, qui, comme on l'a vu, se trouve d'un demi-pouce, suffit pour qu'on puisse jeter sur les objets le degré de lumière qui convient. Il n'est pas alors nécessaire de les diviser : on sent combien on évite par là d'inconvéniens, quand il s'agit d'observations sur les êtres vivans.

Dans les microscopes dioptriques composés, un objectif de 6 lignes, du pied de Paris, de foyer paraît être celui qui réunit les meilleures qualités, sauf quelques circonstances particulières dans lesquelles, renonçant à la manière d'éclairer, on desire surtout un grand grossissement.

L'objet qui doit être observé se trouve donc tout aussi éloigné du tube du microscope dioptrique que du tube de mon microscope catadioptrique. Il est conséquemment naturel de comparer les effets de ces deux instrumens.

J'ai déjà eu l'occasion d'examiner beaucoup de microscopes composés, construits par les célèbres Adams et Dollond.

Le même objet observé successivement, les circonstances étant semblables, avec divers instrumens, s'est toujours trouvé moins distinct et moins clair dans les dioptriques. Quant au grossissement, celui du microscope catadioptrique était si supérieur, qu'il a conservé cet avantage, même lorsqu'on l'a comparé à un objectif de verre d'une seule ligne de foyer.

Je dois avouer que jamais, jusqu'ici, je n'ai eu l'occasion de comparer mon instrument avec ces microscopes de Dellabarre pour lesquels un opticien français a osé défier tous les fabricans anglais. Je n'ai jamais eu non plus à ma disposition des microscopes fabriqués dans la célèbre manufacture d'optique qui est établie à Benedictbeurn, près Munich. D'après les catalogues des instrumens faits par Utzschneider et Fraunhofer, je vois que le grand microscope évalué 1140 francs ne grossit pas la surface des objets au-delà de 22500 fois. Ce grossissement est fort au-dessous de celui qu'on obtient par nos catadioptriques : car je suis arrivé jusqu'à un million.

Du reste, pour ôter tous les doutes et suppléer autant que possible à la confrontation immédiate que je n'ai pas pu faire de ces derniers instrumens, j'ai pensé devoir calculer les effets des meilleurs microscopes dioptriques par les théories les plus accréditées, dans la persuasion

que ces théories promettent plus qu'un excellent artiste ne peut obtenir par la pratique.

Dans cette vue, je commence par prendre pour exemple le meilleur objectif achromatique, qui résulte des formules données par Duval-le-Roy (*Supplément à l'optique de Smith.* Brest, 1785, page 63). Si la distance focale est de 6 lignes, la plus grande ouverture qu'il puisse supporter selon ces formules sera de 0,1425 pouces, ou bien $\frac{2850}{10000}$mes de la longueur. Dans mon objectif métallique, on recueille une lumière à-peu-près double, puisque son ouverture peut être $\frac{11}{26} = 0{,}4231$ de sa longueur focale. Mais malgré cette augmentation de lumière, pour juger de la plus ou moins grande netteté avec laquelle les objets observés seraient vus dans les deux instrumens, il faut avoir égard à deux choses, savoir : à la lumière interceptée par le petit miroir, et à la perte des rayons dans la réfraction et dans la réflexion.

Le diamètre du petit miroir plan est de 0,5 pouces; l'objectif est donc comme nul dans un espace circulaire dont le diamètre a 0,572 pouces. Dès-lors la lumière, qui par cet obstacle manque à l'image, en y comprenant même celle qui est interceptée par le soutien délié du petit miroir, ne surpasse pas le $\frac{36}{121}$me ou 0,2975 de toute celle que l'objectif embrasse : ce sera donc à-peu-près la diminution qu'il faudra faire subir à la lumière totale recueillie par le miroir concave.

Pour évaluer ensuite les différentes pertes de lumière qui ont lieu par le passage à travers les verres et par la réflexion sur les métaux, j'ai eu recours à une expérience de Nevil Maskelyne (*Nautical Almanac.* 1787).

En comparant une lunette achromatique à triple ob-

jectif avec un télescope catoptrique construit par Edward, et dans lequel le métal des miroirs était un alliage de 32 parties de cuivre, de 15 d'étain, de 1 d'arsenic, de 1 d'argent et de 1 de laiton ou cuivre jaune, il trouva qu'à grossissement égal et à pareilles ouvertures, le télescope catadioptrique montrait les objets aussi nettement que la lunette.

La composition métallique dont je me sers n'est pas faite, à la vérité, dans les proportions que je viens d'indiquer; mais elle ne lui est point inférieure. On peut donc supposer que la quantité de rayons qui se perdent dans le passage au travers du triple objectif microscopique est égale à celle des rayons absorbés par les superficies réfléchissantes. Dès-lors la quantité de lumière qui arrive à l'œil par le moyen de l'objectif de verre, sera à celle qui arrive par l'objectif de métal, comme $\overline{0,285}^2 : \overline{0,423}^2 (1 - 0,2975)$ ou comme 81225 : 125757, c'est-à-dire que mon instrument montrera les objets, à parité de circonstances, une moitié plus lumineux que s'ils étaient vus avec le meilleur objectif microscopique à lentille que la théorie peut fournir.

Personne ne niera, je pense, que le fameux objectif du télescope de Dollond, de 42 pouces de longueur et de 3,75 d'ouverture, ne soit un chef-d'œuvre de l'art.

On détermine de même, sous le rapport de la clarté, les effets que peut produire un triple objectif *microscopique* travaillé avec autant de perfection que celui qui est dans la lunette de Dollond. Le principe d'une semblable détermination est que tout objectif de télescope dans lequel les différentes aberrations sont détruites, peut

devenir un bon objectif de microscope en intervertissant l'ordre des lentilles.

On sait que, dans les télescopes achromatiques, les objets semblent également brillans et distincts, lorsque les ouvertures, et par conséquent les grossissemens linéaires, sont entre eux comme les racines quatrièmes des cubes de leurs longueurs. (*Pézenas*, trad. de Smith. Avignon.). Appelant A l'ouverture de la lentille composée, de 6 lignes de foyer, on aura

$$\sqrt[4]{\overline{42}^3} : \sqrt[4]{\overline{0{,}5}^3} :: 3{,}75 : A,$$

d'où on tire $A = 0{,}13515$ de pouce, quantité qui est la $\frac{2703}{10000}$me partie de la longueur focale.

On trouvera donc, par les observations précédentes, que la clarté de l'objet dans le microscope dioptrique, est à la clarté dans le catadioptrique comme

$$\overline{0{,}2703}^2 : \overline{0{,}4231}^2 - 0{,}2975 \times \overline{0{,}4231}^2 :: 73 : 126.$$

Finalement, si on examine les microscopes à 5 lentilles de même verre, construits selon la théorie d'Euler (*Dioptrique*, tom. III), le diamètre de la première lentille (celle qui est la plus voisine de l'objet et de laquelle dépend la quantité de lumière qui peut arriver à l'œil), est

$$\frac{0{,}290}{\sqrt[3]{m}},$$

où m indique le grossissement. Supposant $m = 500$, l'ouverture égale 0,0364, laquelle est 0,0873 de la distance ($\frac{5}{12}$ de pouce) de l'objet à la même lentille : dès-lors,

la netteté de celle-ci est à la netteté de mon objectif comme

$$\overline{0{,}0873}^2 : \overline{0{,}4231}^2 - 0{,}2975 \times \overline{0{,}4231}^2 :: 8 : 126,$$

approximativement.

Les rapports de clarté de ces divers instrumens, avec mon microscope catoptrique, se fondent sur l'expérience citée de Maskelyne, d'où il semble résulter qu'il se perd autant de lumière dans trois objectifs superposés que dans les réflexions sur deux miroirs métalliques. Mais si l'on vient à adopter les résultats des expériences faites par Herschel (*Philosoph. Trans.*, 1800, p. 64.), la lumière supposée appartenir à mon microscope diminuerait.

Herschel a trouvé, en employant le moyen d'observation proposé par Bouguer, que sur 100000 rayons qui tombent sur un miroir plan métallique, il s'en réfléchit seulement 67262 ; et qu'après une double réflexion, l'intensité est réduite à 45242. Il reconnut aussi qu'un verre de moyenne grosseur transmettait 94825 rayons, le faisceau incident étant représenté par 100000 ; à travers deux lentilles, il n'arriverait donc à l'œil que 89918 rayons, et l'intensité se trouverait réduite à 85265 si le nombre des lentilles était égal à 3. Herschel avoue cependant qu'il reste une grande incertitude sur les quantités qu'il a assignées, à cause qu'un miroir nouvellement poli donne plus de lumière qu'un autre, et que les qualités diverses des métaux produisent aussi des différences.

Je ne saurais décider si l'expérience d'Herschel mérite la préférence sur celle de Maskelyne, relativement aux applications que j'en ai faites, puisque je ne les ai répétées

ni l'une ni l'autre ; si j'ai parlé des expériences du premier de ces célèbres astronomes, c'est afin qu'on ne crût pas que je voulais trop vanter les bonnes qualités de mon instrument.

Je puis encore dire, sans crainte d'être taxé d'exagération, que dans mon microscope, il est possible de réunir une si grande quantité de lumière sur l'objet, qu'on verra celui-ci avec beaucoup de clarté, tant par réflexion que par transparence, même en portant le grossissement linéaire à plus de mille fois. Si je ne me trompe, aucun instrument dioptrique n'est arrivé à une telle force, du moins relativement aux corps opaques.

En s'occupant de la netteté avec laquelle on voit les objets dans les différens microscopes, on reconnaîtra facilement qu'elle est parfaite dans le catoptrique, quand les miroirs ont une courbure très-exacte ; tandis, au contraire, que, dans les dioptriques, quelque rigoureuse que soit la courbure des verres, l'image est toujours altérée par la partie de l'aberration de réfrangibilité qui n'est pas détruite. C'est là, comme on sait, la cause qui met des bornes au grossissement dans cette seconde classe d'instrumens ; dans les catoptriques, on n'est arrêté que par le manque de lumière.

Dans la comparaison de la netteté, je n'ai pas tenu compte de l'aberration de l'oculaire. Cette aberration, quoique plus grande dans le microscope catadioptrique, y est pourtant insensible, puisque l'angle du cone lumineux qui forme l'image se monte seulement à $5\frac{1}{4}$ degr., et peut se comparer à celui des oculaires des télescopes newtoniens, de 88 pouces d'ouverture, et de 8 pieds de foyer : or, ces derniers instrumens montrent avec une

grande précision les étoiles doubles les plus faibles et les plus rapprochées.

De tout ce qui précède, on peut conclure, si je ne me flatte pas trop, qu'il résulte de la nouvelle construction les avantages suivans :

1°. L'observateur regardant horizontalement se trouve dans une position plus commode que s'il regardait du haut en bas, comme cela arrive dans les autres microscopes dioptriques composés.

2°. Les divers grossissemens s'obtiennent en changeant seulement les lentilles oculaires. Dès-lors il est facile de faire passer avec une grande promptitude un objet par tous les degrés de grossissement, en le conservant toujours dans le champ de la vision. Ceci ne peut pas s'obtenir avec les instrumens qui nécessitent les changemens de la lentille objective, et dans lesquels, outre la perte de temps, il est très-rare de réussir, après avoir procédé au remplacement de cette lentille, à retrouver l'objet qui était d'abord en vue.

3°. Dans le nouveau microscope, l'objet est constamment à la distance d'un demi-pouce de la paroi du tube. On pourrait donc observer les corps avec tous les grossissemens, alors même qu'ils seraient plongés dans un liquide jusqu'à la profondeur d'un demi-pouce. Les autres microscopes ne peuvent point servir dans ces circonstances, si on a besoin des plus grands grossissemens, puisque, vu la petitesse des longueurs focales des lentilles objectives qu'il faudrait employer, le liquide toucherait les lentilles elles-mêmes.

4°. Les objets seront éclairés de tout côté avec une

lumière très-forte et bien distribuée, même à l'aide d'une lanterne, puisque la flamme peut être rapprochée à volonté du miroir éclairant, et transportée, sans incommoder l'observateur, dans le voisinage de l'axe même du miroir. Dans les autres instrumens inventés jusqu'à présent, lorsque les amplifications sont considérables, on ne peut voir les corps que par transparence.

5°. Les miroirs, ne donnant pas de couleurs, conservent aux images les teintes des objets; ces teintes ne sont pas altérées, même par l'oculaire, si on observe dans le centre du champ, ou si l'oculaire est composé.

6°. Le miroir concave, ayant une très-grande ouverture relativement à la longueur focale, procure beaucoup de lumière.

7°. La netteté des images réfléchies étant plus grande que celle des images réfractées, donne la faculté d'atteindre à de plus forts grossissemens.

J'ai joint à mon microscope un appareil destiné à dessiner et à mesurer les objets agrandis. Avec cela, il se trouve réunir toutes les qualités qui se rencontrent seulement séparées dans les instrumens qui ont été inventés jusqu'à présent. Dans le microscope solaire, qui se prête à la fois à l'observation des objets transparens et à celle des objets opaques, on estime beaucoup la double faculté de pouvoir observer et dessiner commodément ces objets agrandis; mais on blâme le manque de netteté, d'où résulte les illusions d'optique qui trompent même les observateurs les plus versés dans cette science.

Le microscope lucernal d'Adams permet d'exécuter facilement la copie des corps : mais on l'accuse d'avoir peu

de netteté, et de n'être, par cette raison, d'aucune utilité quand on emploie de forts grossissemens.

Des grossissemens considérables peuvent être obtenus avec de simples lentilles ou avec des globules. Le père de la *Torre* était arrivé à en fabriquer de si petits que la longueur focale ne surpassait pas un demi-point du pied de Paris. Mais si on consulte le rapport de Baker (*Philosophical Trans.* 1766), qui fut chargé d'examiner de tels globules donnés en présent à la Société royale de Londres, on y verra qu'il était impossible de tirer un bon parti, même des plus grands, quoique leur force amplifiante fût évaluée seulement à soixante fois.

Enfin, la petitesse de longueur focale de ces globules empêche de distinguer les objets opaques, et même les objets transparens qui ont quelque grosseur, surtout s'ils sont plongés dans un fluide.

Quant à mon microscope, si l'on y adapte l'apareil que je vais décrire, les objets, de quelque espèce qu'ils soient, pourront être amplifiés en superficie jusqu'à un million de fois. Il sera, aussi, facile de les dessiner avec la grosseur qui paraîtra la plus convenable, et de déterminer leurs dimensions réelles aussi exactement que l'exigent les recherches les plus délicates.

Les pièces additionnelles dont je veux parler forment une espèce de *camera lucida* imaginée par moi. Elle est composée d'un miroir plan rectangulaire, ayant dans le milieu une fente longitudinale, moins large que le diamètre de la pupille, et placé à une moyenne distance d'un prisme de verre isocèle et rectangulaire, comme on le voit dans la figure 3, où *A B C* représentent le miroir, *xy* la fente, et *FHIL* le prisme.

Par le moyen du petit chevalet *Q* on appuie contre l'oculaire *M* d'un microscope l'envers du miroir troué, et l'on tourne en bas le prisme qui y est joint; dès-lors on observe par la fente l'objet grossi, pendant qu'avec la portion de pupille qui déborde cette fente on voit la main de l'observateur qui est placée sous l'oculaire, se projeter dans son champ. En suivant ainsi avec la pointe d'un crayon les contours de l'objet, on en trace la copie exacte sur un papier étendu le long de la table qui porte le microscope.

Il est facile de voir que cette copie varie de grandeur avec la distance de l'oculaire à la table, et avec le foyer de l'oculaire lui même.

Quelques personnes imagineront peut-être, en voyant ainsi la main comme transportée dans le tube du microscope horizontal, tandis qu'en réalité elle appuie sur la table, qu'il ne sera pas possible d'exécuter un dessin avec facilité et précision.

Cette difficulté disparaît pourtant si on remarque que les mouvemens de l'image de la main, dans le tube, se font dans la même direction que ceux de la main qui doit copier.

Pour connaître la grandeur véritable de toutes les parties d'un objet microscopique, on choisit un des oculaires les plus faibles, dans le champ duquel se trouve comprise, par exemple, l'image agrandie d'une ligne du pied de Londres, tracée avec un diamant très-fin, à la surface d'un verre placé sur le porte-objet.

Ensuite, en employant le petit appareil qui sert à copier, on trace sur le papier posé dessous les deux extrémités de cette ligne amplifiée, qui devient ainsi l'é-

chelle de tous les dessins faits avec cet oculaire. Il est, en effet, évident que le rapport qu'il y a entre la distance de deux points distincts de la copie et la susdite échelle, est égal au rapport qui existe entre la distance véritable des points correspondans de l'original et la longueur d'une ligne du pied de Londres.

Si on veut substituer à l'oculaire en question un oculaire plus court, et tel que son champ n'embrasse plus entièrement toute l'étendue de la ligne tracée sur le verre, on obtiendra avec précision, de la manière suivante, l'échelle correspondante au nouveau grossissement.

Avec l'oculaire qui nous a fourni la première échelle, on observe le diamètre d'un objet quelconque, mais tel cependant qu'il puisse se voir en entier quand on se sert de la lentille du foyer le plus court. On marque sur le papier la projection de ce diamètre, et en la comparant avec la projection de la ligne entière du pied anglais, on connaîtra à quelle partie de la ligne correspond ledit diamètre, et conséquemment on aura sa grandeur réelle.

Si maintenant, en se servant du court oculaire, on fait la projection du même objet, la longueur de cette projection pourra évidemment servir d'échelle pour tous les dessins exécutés avec ce nouveau grossissement. En suivant le même procédé, on arrivera à la détermination des échelles pour des oculaires qui grossiraient encóre davantage.

Quand on connaîtra une fois les échelles correspondantes à tous les oculaires, il sera toujours facile d'en déduire la grandeur réelle des objets, pourvu que les

projections aient été faites aux mêmes distances, c'est-à-dire, pourvu que l'intervalle compris entre l'oculaire du microscope et la table n'ait pas varié.

Celui qui ne veut pas perdre son temps à faire les projections des diamètres des objets qu'il a l'intention de mesurer, arrive au même but en traçant à l'avance un réseau sur un petit carton et en le posant sur la table de manière qu'il corresponde exactement à l'oculaire du microscope, armé de la machine à copier.

Ce réticule semblera alors couvrir l'objet microscopique : or, le nombre des parties recouvertes et leurs valeurs déterminées d'avance, conduiront aisément à la connaissance des dimensions réelles des objets.

Il est bon de former le réseau avec des lignes blanches tracées sur un fond noir, parce que le fond noir laisse mieux voir les objets dans le microscope.

J'ajouterai encore qu'il est plus facile de dessiner sur un papier obscur avec un crayon blanc, que sur un papier blanc avec un crayon noir.

J'ai appris qu'à la fin de 1809, M. Bate, en Angleterre, proposa d'employer la *camera lucida* de Wollaston pour faciliter le dessin d'un objet agrandi (*Bibliothèque britannique*, *janvier* 1810). Mais cette camera lucida ne pourrait pas s'appliquer avec avantage à mon microscope, à cause que je me sers d'oculaire d'un foyer très-court. Par l'interposition de la camera lucida de Wollaston, la distance de l'œil à l'oculaire serait plus grande que la longueur focale de ce dernier, et le champ de la vision se trouverait interrompu du haut en bas, les axes obliques qui émanent des deux extrémités de l'image ayant acquis trop de divergence pour être com-

pris dans la pupille que partage en deux l'angle supérieur du prisme.

Je dois en outre faire remarquer que les défauts tenant aux apparitions et disparitions successives de la pointe du crayon, sont un peu diminués par ma construction.

Quand les oculaires sont d'un long foyer, et que l'objet microscopique brille d'une vive lumière, le meilleur moyen, pour copier, est d'employer un morceau de cristal épais qui, par sa propriété infléchissante, montre l'objet, et qui, à cause de sa transparence, laisse voir la main.

D'après la description que j'ai faite du nouveau microscope, on concevra facilement qu'il n'est pas autre chose que le télescope newtonien renversé. Dans l'un, les rayons qui partent de l'objet rencontrent premièrement le miroir concave, et arrivent ensuite au miroir plan qui les réfléchit vers l'oculaire ; dans l'autre, les rayons tombent d'abord sur le miroir plan, et vont à l'oculaire, après avoir été réunis par le réflecteur concave.

Les télescopes de Cassegrain et de Grégory nous fourniront aussi des microscopes catoptriques, si les oculaires, ôtés de leur place, sont transportés au-delà des petits miroirs. Alors un objet placé dans le fond du tube enverra ses rayons sur le petit miroir par le trou situé au centre du grand ; de là ces rayons seront réfléchis sur le grand, qui à son tour les enverra à l'oculaire.

Du reste, les deux télescopes que nous venons de citer ne nous fournissent pas, par le renversement, des microscopes aussi bons que ceux qui résultent de la forme newtonienne. L'une des principales raisons, c'est que le petit miroir devant être placé à une grande distance de

l'objet, le cône de lumière se trouve très-resserré, et dès-lors la clarté n'est pas considérable.

A la fin de l'année 1812, je construisis un télescope à tube fixe, composé de deux grands miroirs, un concave et l'autre plan.

Ce télescope, que je décrirai dans une autre occasion, et qui a été déclaré, par l'*Institut* italien des Sciences, mériter le premier prix annuel, peut aussi, quand on le renverse, donner un excellent microscope.

J'ai fait fabriquer en 1813 des microscopes de cette forme, dans lesquels l'ouverture de l'objectif est de 6 lignes, et la distance focale de 8; par conséquent ils grossissent plus encore que les premiers. Mais, dans cet état, ils ne peuvent servir que pour les petits objets transparens.

Un petit coffre quadrangulaire de cuivre forme le tube de l'instrument. Il contient, dans la partie inférieure, le miroir objectif concave, placé de manière que son axe est perpendiculaire à l'axe du tube; vis-à-vis est un miroir plan elliptique, percé à son centre; cette ouverture se trouve à l'intersection de l'axe du coffre et de l'objectif concave; la surface du petit miroir plan est inclinée de 45° aux mêmes axes.

Dans la partie supérieure du tube est l'oculaire mobile auquel on peut facilement en substituer d'autres de diverses forces. Si on place maintenant un objet près du trou du miroir plan où se trouve le foyer de l'objectif, les rayons divergens seront recueillis par celui-ci, qui en les réfléchissant les rendra convergens; ensuite ils tomberont sur le miroir plan qui les réfléchira à son tour de manière à former image sur la lentille oculaire.

J'ai pensé à construire un autre microscope de même forme avec un miroir objectif plus large et d'un plus grand foyer, qui pourra servir même pour les objets opaques. Voici comment je m'y prendrai :

Soit *EFDC* (*fig.* 4) la section longitudinale du coffre qui forme le tube. *AB* représente le miroir objectif, et *DC* le miroir plan, poli tant dans la partie interne que dans la partie externe.

Il est clair que l'objet *G*, étant à quelque distance du trou, peut être fortement éclairé par-dessus avec une lentille convexe et qui réfléchisse la lumière sur la surface externe du miroir *D C*.

Dès-lors l'œil situé en *P* n'est pas ébloui par la lumière extérieure. Il sera utile d'appliquer un disque obscur sur le centre de la lentille éclairante pour intercepter ces rayons seulement, qui, se dirigeant vers l'ouverture du miroir plan, arriveraient à l'œil.

Sur *la Pierre météorique qui est tombée dans le département de l'Ardèche, le* 15 *juin* 1821.

Procès-verbal du Maire d'Aubenas.

Nous soussigné, maire de la ville d'Aubenas, canton d'Aubenas, arrondissement de Privas, département de l'Ardèche, certifions que, le 15 juin 1821, à trois heures après midi, il fut entendu dans cette ville et les environs une forte détonnation, suivie d'un bruit roulant qui dura quelques minutes, et étonna d'autant plus que le ciel était serein, et que l'on ne pouvait rendre compte de la

cause de l'explosion. Cette ville est distante d'environ quatre lieues de Juvenas. Le jour et l'heure de l'explosion s'accordent parfaitement avec les détails donnés plus bas, et ne laissent aucun doute que la détonnation qui eut lieu à Juvenas, et à la suite de laquelle un aérolithe tomba dans cette commune, n'ait été entendue dans cette ville. En foi de quoi nous avons certifié le fait comme sincère et véritable. V. VERNY.

A Aubenas, le 2 juillet 1821.

Extrait du procès-verbal du Maire de la commune de Juvenas.

Nous maire de la commune de Juvenas, canton d'Antraigues, arrondissement de Privas, département de l'Ardèche, rapportons que, le 15 juin présent mois, averti par un bruit épouvantable qui se fit entendre, tant sur notre commune que sur celles environnantes, vers les trois heures de l'après-midi, nous jugeâmes que quelque événement majeur, autant qu'extraordinaire, semblait opérer un bouleversement dans la nature.... Peu de jours après nous fûmes instruits qu'un météore avait éclaté sur la montagne de l'Oulete, sur le hameau du Cros-du-Libonnez, faisant partie de notre commune. Selon les versions du nommé Delmas père, vieillard septuagénaire, son apparition fut précédée et annoncée par deux fortes explosions assez rapprochées et semblables à deux violens coups de canon, et suivies d'un bruit alarmant qui se prolongea pendant plus de vingt minutes, ce qui répandit l'alarme et la consternation parmi les habitans.... Les troupeaux prirent la fuite, et les chèvres et brebis furent se tapir sur

différens points en pelotons. Dans le même moment on vit sortir de derrière la montagne de l'Oulete une masse noire, décrivant, en roulant dans les airs, un quart de cercle, en plongeant dans le creux du vallon de Libonnez. Cet événement remarquable ne fut guère aperçu que par des enfans qui, moins effrayés que les personnes raisonnables, suivirent la direction, et ont depuis indiqué le lieu positif où cette masse s'était engloutie. Le père Delmas ajoute qu'il entendit dans les airs une confusion de voix qu'il crut être au moins cinq cents diables, qu'il regarde comme les agens du transport de ce phénomène alarmant, au point qu'il dit à Claude Vaisse, l'un de ses voisins (qui comme lui était aux champs) : entends, comprends-tu le langage de tous ces gens-là ? Celui-ci répondit assez ingénument : je ne les comprends pas. Mais ils restèrent l'un et l'autre dans la persuasion que cette masse était portée par une horde infernale. Le père Delmas, pour dernière raison, dit audit Vaisse : Nous n'avons que le temps de dire un acte de contrition, baissa les yeux, courba la tête et attendait tranquillement la mort. Tel fut l'état de consternation dans lequel se trouvèrent tous les témoins de ce terrible événement, que, d'après leur aveu, ils voyaient déjà les montagnes rouler et s'entasser sur eux.

La terreur était telle, que ce ne fut que le 23 du même mois qu'on se décida à aller déterrer cette merveille, dont on ne connaissait encore ni la forme ni la nature... Après avoir creusé 18 décimètres (environ 7 pans), on trouva une pierre tombée du ciel garnie d'un vernis noir bitumineux, répandant par certaines parties une odeur de soufre, et pesant 92 kilog. (ou 220 livres poids de table) :

on fut obligé de la couper pour la sortir ; il en reste encore un bloc de 45 kilogram. (environ 112 livres) dont M. Alleysson, orfèvre d'Aubenas, est devenu propriétaire. Tous les faits ci-dessus sont avérés par les habitans du hameau de Libonnez, et notamment par Delmas père et fils, Jacques et Claude Serre, Pierre Chareyre, Jean Choudouart, Antoine Dumas et ses enfans, ainsi que mademoiselle Vidal, jeune fille âgée de quatorze ans environ, et autres ; les deux derniers, moins effrayés, suivirent la direction de la pierre, et trouvèrent positivement l'endroit où elle s'était enfoncée ; de tout quoi nous avons dressé le présent procès-verbal, etc.

Délivré par nous Maire de Juvenas, le 29 juin 1821.

Signé DELAIGUE.

Je trouve dans une autre relation imprimée, et qui paraît rédigée par une personne instruite que, le 15 juin, au moment de la chute, le ciel était serein, et que le vent du nord soufflait faiblement. Les uns disent avoir vu une masse noire, les autres un globe de feu ; le globe fit entendre dans l'atmosphère un sifflement très-fort.

Suivant M. Flaugergues, le roulement sourd qui accompagna la chute du météore dura plus de 3 minutes ; il y eut quatre détonnations. A Viviers, à Saint-Thomé (une lieue à l'ouest de Viviers) et à Aps, une lieue plus loin encore, l'aérolithe se montra à un grand nombre de personnes *comme une étoile brillante* qui descendait sur le Coiron (au N. O.). En disparaissant, il laissa, suivant les mêmes témoignages, *une traînée de fumée*.

Extrait d'une lettre de M. Jules de Malbos (cet extrait a été communiqué à l'Académie des Sciences).

Le 15 juin 1821, vers les trois heures après midi, regardant mes ouvriers qui taillaient des mûriers très-élevés, je vis presque au-dessus de ma tête, vers le nord-est, partir *un globe de feu* très-considérable, qu'à sa chute rapide et en apparence perpendiculaire je présumai être un aérolithe. Recommandant à mes ouvriers de cesser leur ouvrage, pour écouter s'il n'y aurait pas une détonnation, je comptai à l'instant les battemens de mon artère, et je cessai quand je fus arrivé à 90 pulsations, désespérant alors de rien entendre. Un instant après, un roulement très-prolongé se fit entendre, et fut suivi bientôt d'un autre aussi fort que je crus d'abord l'effet d'un écho produit par une chaîne de montagnes que j'avais à ma droite (sur les lieux où l'aérolithe est tombé, ces roulemens ont été précédés de deux fortes détonnations, comme celle d'une pièce de 48.)

Me souvenant avoir lu qu'on avait observé à l'Aigle, après la chute des aérolithes qui y tombèrent, il y a près de dix-huit ans, un nuage triangulaire très-élevé, j'examinai si cette circonstance accompagnerait la chute de celui que je venais d'apercevoir, et je vis sur la trace de son passage une vapeur grisâtre, formant un long ruban de la largeur apparente de 5 ou 6 pouces, et ne présentant que de très-légers zigzags sur ses bords. Cette espèce de fumée était de la même couleur que les nuages, et occupait une région très-élevée et si calme que, près de dix minutes après, on l'apercevait encore sans qu'elle eût sensiblement changé de place et de forme; tandis que

quelques nuages rares dans une partie plus basse de l'atmosphère passaient rapidement, emportés par un vent violent du nord-est.

De Juvenas, où la pierre est tombée, à Bariat, d'où je l'ai aperçue, il y a 8 lieues.... On m'assure que la détonnation a été entendue de Nîmes.

Un fait qu'annonce M. de Malbos, et dont il n'est pas question dans le procès-verbal du maire de Juvenas, c'est que dans le même champ où la grosse masse a été déterrée on en a trouvé une autre de moindre dimension, et que plusieurs fort petites pierres recouvertes du même vernis noir ont été ramassées sur la terre, à deux lieues au-delà.

M. le maréchal Suchet, duc d'Albuféra, a adressé à l'Académie un fragment du gros aérolithe : il ne diffère pas, quant à l'aspect extérieur, de ceux que renferment nos Musées. Aussitôt qu'on aura terminé l'analyse chimique, nous nous empresserons de la mettre sous les yeux des lecteurs des *Annales*.

Sur *la Préparation de la quinine.*

Par Mr J. Voreton,

Elève en Pharmacie à Grenoble.

Je me suis servi avec avantage du procédé suivant pour préparer la quinine et la cinchonine, dans la pharmacie de mon père.

J'ai pris 5 kilogrammes de quina jaune, de bonne qualité, réduit en poudre grossière. Je l'ai mis infuser dans de l'eau acidulée d'acide hydro-chlorique, dans la proportion d'un centième environ. J'ai laissé macérer vingt-quatre heures, j'ai exprimé fortement, et traité par de nouvelle eau acidulée, jusqu'à ce que le quina ne cédât plus aucune amertume. Alors j'ai filtré et traité les infusions réunies par un excès de magnésie pure. J'ai fait bouillir un instant et laissé refroidir. Le reste du procédé est entièrement conforme à celui déjà connu. Ainsi on filtre, on lave le précipité magnésien à l'eau froide, on le sèche, et on le traite par l'alcool. On obtient la quinine en distillant, et évaporant l'alcool à une douce température.

Par ce procédé, plus simple que celui déjà connu, puisque l'on évite la préparation de l'extrait alcoolique, j'ai obtenu, de 5 kilogrammes de quina, environ 70 grammes de quinine, au lieu de 45 ou 50 que j'aurais dû obtenir par l'autre procédé. Cela provient, je crois, de ce que l'acide hydro-chlorique dissout plus facilement toute la quinine lorsque celle-ci n'est pas enveloppée par la matière grasse ou la matière résineuse de l'extrait alcoolique.

Sur *l'Inflammation de la poudre par l'étincelle électrique*.

Par M. Leuthwaite.

L'inflammation de la poudre, par des étincelles électriques ordinaires, a été toujours considérée comme

assez difficile à exécuter. Les faits suivans, outre qu'ils serviront peut-être à faire connaître un des principaux obstacles à la réussite de l'expérience, donneront des notions curieuses sur la faculté conductrice des fluides.

La bouteille dont je me servais contenait un pied carré de surface étamée; cette bouteille, quand elle était chargée de manière à porter l'électromètre à cadran jusqu'à 90°, se déchargeait spontanément.

Le tube en verre dont je fis usage avait six pouces de long et $\frac{3}{10}$ de pouce de diamètre. Il était fermé à ses deux extrémités par deux bouchons de liége percés de deux petites ouvertures à travers lesquelles passait un fil métallique; on pouvait le remplir successivement de différens liquides.

Je trouvai d'abord avec mon appareil, par une moyenne entre plusieurs expériences, que la poudre prenait feu quand le courant passait dans le tube rempli d'eau, si la charge de l'électromètre était de 60°; au-dessous de ce degré, la poudre ne s'enflammait plus.

Je remplis ensuite mon tube avec de l'éther sulfurique; la poudre ne prit jamais feu tant que la charge de la bouteille ne portait pas l'électromètre à 60°; mais quand le tube renfermait de l'alcool, l'inflammation avait déjà lieu à 30°.

Le tube ayant été enfin rempli, soit avec l'acide sulfurique, soit avec l'acide muriatique, la poudre ne s'enflammait pas, lors même que la charge de la bouteille était de 80°.

(*Journ. of Science, Litterature and the Arts*, 1821, n° XXII, p. 391).

De l'Emploi *du chalumeau dans les analyses chimiques et les déterminations minéralogiques, etc., avec 4 planches.*

Par Mr J. Berzelius.

Traduit du suédois par Mr F. Fresnel (1).

L'application du chalumeau à l'analyse des substances inorganiques est considérée avec juste raison comme le complément nécessaire de la chimie et de la minéralogie ; mais si l'utilité de cet instrument est universellement reconnue, il n'est qu'un point de l'Europe où l'on ait su en tirer tout le parti possible. Inventés en Suède, conservés par tradition dans ce pays et perfectionnés par un minéralogiste suédois, dont la réputation est parvenue jusqu'à nous, mais dont il reste à peine quelques lignes sur le chalumeau dans les *Elémens de Chimie* de M. Berzelius, les procédés ingénieux de l'art pyrognostique étaient naguères l'héritage exclusif de quelques savans du Nord. Dépositaire des méthodes de Gahn, avec lequel il a vécu familièrement pendant les dix dernières années de sa vie, M. Berzelius *a vivement senti l'obligation où il se trouvait de perpétuer et de répandre autant qu'il était en lui les fruits des travaux de cet homme remarquable*; et c'est pour satisfaire à ce devoir

(1) Cet ouvrage paraîtra dans le courant du mois d'octobre, chez Méquignon-Marvis, libraire, rue de l'Ecole-de-Médecine, n° 3.

qu'il a composé et publié à Stockholm, au commencement de cette année, l'ouvrage dont nous annonçons la traduction. Cet ouvrage renferme, 1° un *Traité du chalumeau*, où l'auteur décrit avec le plus grand détail les méthodes que l'on doit suivre dans les essais qui se font au moyen de cet instrument : quatre planches, gravées au trait, offrent la représentation exacte des différentes formes de chalumeau et de tous les instrumens qui se rapportent à son emploi ; 2° une *série d'essais minéralogiques :* dans cette partie, la plus considérable de son ouvrage, M. Berzelius passe en revue tous les phénomènes que présentent sous l'action du chalumeau les espèces et les variétés minérales. Un appendice à l'usage des médecins, *sur la composition des calculs urinaires*, termine l'ouvrage de M. Berzelius. Médecin lui-même, il indique aux personnes de sa profession des moyens aussi prompts qu'infaillibles de reconnaître la nature des concrétions pierreuses qui se forment dans les voies urinaires, et les met ainsi à même de faire, sans le secours du chimiste, toutes les analyses qui ont pour objet la connaissance des parties constituantes de ce genre de substances.

La fidélité de la traduction que Mr F. Fresnel offre au public a pour garantie l'approbation expresse de M. Berzelius, et la révision que M. Dulong veut bien faire de toutes les épreuves.

D'après ces considérations, nous ne doutons pas que l'ouvrage dont il s'agit ne soit favorablement accueilli du public, et en particulier des chimistes, des mineurs et des minéralogistes.

JOURS.	9 HEURES DU MATIN. Barom. à 0°.	Therm. extér.	Hygr.	MIDI. Barom. à 0°.	Therm. extér.	Hygr.	3 HEURES DU SOIR. Barom. à 0°.	Therm. extér.	Hygr.	9 HEURES DU SOIR. Barom. à 0°.	Therm. extér.	Hygr.	THERMOMÈTRE. maxim.	minim.	ÉTAT DU CIEL à midi.	VENTS.
1	756,30	+26,8	50	755,52	+29,0	48	754,77	+29,2	44	755,53	+21,4	72	+29,4	+15,8	Légers nuages.	S.
2	760,85	+19,8	59	761,49	+22,3	51	760,96	+22,3	49	760,74	+18,3	60	+22,3	+16,3	Quelques éclaircies.	O.
3	760,17	+24,5	52	759,83	+26,8	47	759,30	+24,7	67	759,16	+20,4	91	+27,5	+14,0	Très-nuageux.	O. S. O.
4	758,76	+24,8	60	758,08	+24,8	49	757,52	+25,2	45	756,67	+21,0	57	+26,3	+17,8	Très-nuageux.	O. N. O.
5	755,54	+24,9	54	755,22	+27,5	49	754,53	+27,5	45	755,12	+21,5	69	+28,8	+16,3	Nuageux.	E. S. E.
6	756,11	+21,3	74	756,13	+23,8	55	756,52	+21,8	63	757,09	+18,5	80	+24,0	+18,5	Couvert.	S. O.
7	758,73	+17,5	59	758,66	+20,3	46	758,52	+21,0	43	757,96	+15,0	68	+21,0	+14,8	Nuageux.	O. N. O.
8	757,70	+17,0	64	755,87	+21,4	43	754,55	+20,5	45	752,28	+18,1	64	+21,4	+12,0	Très-nuageux.	O. S. O.
9	748,88	+20,5	74	748,85	+18,3	81	748,04	+20,0	64	748,90	+16,1	69	+21,3	+15,3	Pluie par intervalles.	O. S. O.
10	748,84	+18,6	51	748,76	+21,1	36	748,08	+20,5	45	748,66	+15,2	84	+21,1	+11,3	Très-nuageux.	S. O.
11	751,03	+18,1	55	751,33	+19,5	45	751,40	+19,3	47	753,05	+14,5	63	+20,0	+13,5	Très-nuageux.	O.
12	755,28	+17,8	61	755,64	+19,8	55	755,75	+19,3	50	757,50	+15,2	80	+20,3	+ 9,8	Quelques éclaircies.	O
13	758,66	+18,8	59	758,32	+21,3	40	757,40	+21,0	40	757,40	+17,8	60	+21,3	+11,8	Nuageux.	O. S. O.
14	755,38	+16,1	79	754,70	+15,8	81	752,30	+16,6	86	751,24	+16,6	91	+17,0	+15,0	Pluie.	O. S. O.
15	755,68	+18,4	67	755,33	+21,0	53	757,00	+21,8	45	759,00	+16,0	72	+22,0	+14,0	Nuageux.	O. N. O.
16	761,60	+21,3	60	761,30	+24,8	54	761,14	+26,5	46	761,70	+18,5	87	+26,5	+13,6	Nuageux.	O.
17	762,28	+21,4	68	761,63	+24,4	52	760,06	+25,4	51	759,20	+20,4	70	+25,4	+16,2	Couvert.	O.
18	758,48	+21,6	61	758,38	+25,2	50	757,92	+26,4	46	759,90	+18,5	76	+26,4	+15,0	Nuageux.	O. N. O.
19	761,33	+18,4	78	761,10	+21,8	60	760,17	+22,6	51	760,98	+13,6	60	+22,6	+14,6	Nuageux.	N. E.
20	761,04	+20,4	58	760,42	+24,9	45	759,47	+27,1	30	760,04	+22,3	49	+27,3	+13,2	Beau.	E.
21	760,20	+23,4	53	759,50	+27,6	40	758,86	+28,5	35	758,82	+24,1	47	+28,6	+14,5	Beau.	E.
22	758,74	+23,8	58	757,85	+28,1	50	757,04	+29,1	41	757,24	+23,5	53	+29,1	+17,0	Très-beau.	E.
23	756,20	+25,1	59	755,50	+29,3	45	754,55	+29,8	36	754,53	+22,5	56	+30,0	+18,3	Quelques nuages.	E. S. E.
24	754,67	+27,4	55	754,28	+30,4	39	753,70	+30,9	33	754,32	+24,9	54	+31,5	+17,8	Pet. nuag. à l'horizon.	S. O.
25	756,14	+23,5	64	756,07	+25,0	55	754,88	+25,8	54	755,85	+21,0	74	+25,9	+18,8	Nuageux.	S. O.
26	756,20	+23,5	60	756,00	+28,0	47	755,63	+25,5	49	756,93	+19,5	77	+28,0	+17,2	Nuageux.	O.
27	758,20	+21,4	75	757,91	+24,5	60	756,97	+24,0	54	757,12	+18,5	58	+24,5	+17,5	Couvert.	N. N. E.
28	753,98	+17,9	92	752,62	+24,1	70	752,00	+23,8	69	752,18	+19,8	94	+25,1	+14,8	Très-nuageux.	S. E.
29	750,15	+19,4	94	749,78	+25,0	67	749,74	+26,4	52	751,30	+17,8	94	+26,4	+17,8	Très-nuageux.	S.
30	751,31	+23,5	62	750,84	+27,0	48	749,38	+26,1	42	750,25	+17,5	92	+27,0	+14,3	Nuageux.	S.
31	751,02	+20,6	72	751,57	+22,3	61	752,10	+22,3	62	754,84	+17,3	76	+22,3	+17,1	Très-nuageux.	O.
1	756,19	+21,6	60	755,84	+23,5	51	755,28	+23,3	51	755,21	+18,6	71	+24,3	+15,2	Moyennes du 1 au 10.	Pluie en centim.
2	758,08	+19,2	65	757,91	+21,9	53	757,26	+22,6	49	758,00	+17,8	71	+22,9	+13,7	Moyenn. du 11 au 20.	Terrasse, 4,574
3	755,16	+22,7	68	754,72	+26,5	53	754,08	+26,5	48	754,85	+20,6	70	+27,1	+16,8	Moyenn. du 21 au 31.	Cour, 4,682
	756,43	+21,2	64	756,11	+24,0	52	755,49	+24,2	49	755,99	+19,0	71	+24,8	+15,3	Moyennes du mois, +20,1.	

TABLE

DES MATIÈRES CONTENUES DANS CE VOLUME.

FIN DE LA TABLE DU DIX-SEPTIÈME VOLUME.

Fig. 1.

Fig. 2.

Fig. 3.

Fig 4

Fig. 1.

Mre. de Mr. Berzelius.

Pag. 245.

